

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Hodnocení bezporuchovosti vozidel MHD

Reliability of City Transport Vehicles Evaluation

Student:

Ondřej Dokoupil

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Dokoupil**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R002 Dopravní technika  
Téma: **Hodnocení bezporuchovosti vozidel MHD**  
**Reliability of City Transport Vehicles Evaluation**

Zásady pro vypracování:

Cíl:

Cílem práce je provést analýzu bezporuchovosti a stanovit její číselné charakteristiky u vozidel MHD.

Osnova:

1. Popis struktury analyzovaného parku vozidel
2. Metody posuzování bezporuchovosti
3. Stanovení číselných charakteristik bezporuchovosti s využitím experimentálních dat
4. Technicko – ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Holub, J.: Zkoušky spolehlivosti (stochastické metody). VA Brno, 1992
2. Famfulík, J.: Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8
3. ČSN IEC 61650: 1998, Techniky analýzy dat o bezporuchovosti

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.05.2010

A handwritten signature in dark ink, reading "Ondřej Dolančík". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mojí bakalářské práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 SB., autorský zákon, zejména § 35 –užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠBTUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z jejich strany, uzavře licenční smlouvu k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém to případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díly vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.05.2010



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Ondřej Dokoupil

Adresa trvalého pobytu autora práce: Olšany u Šumperka 130, 78962

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DOKOUPIL, O. Hodnocení bezporuchovosti vozidel MHD: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, 50s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Bakalářská práce se zabývá hodnocením bezporuchovosti vozidel MHD. V úvodu jsou popsány terminologie a principy, které charakterizují bezporuchovost. Bezporuchovost je popisována pomocí náhodných veličin a jejím rozdělením (Exponenciální, Waibullovo). Na základě experimentálních dat, poskytnutých z dopravní firmy zabývající se autobusovou dopravou, jsou porovnávány dva výrobci autobusů. Pomocí těchto dat, popisujících náhodné veličiny, se určí bezporuchovost a předpokládaný technický stav vozidel. Pro bližší srovnání výrobců autobusů, jsou porovnávány na bezporuchovost i jednotlivé konstrukční části vozidel. Na závěr jsou vozidla zhodnocena i z ekonomického hlediska, kde jsou vyčísleny odhadované roční náklady na údržbu.

## ANOTATION OF BACHELOR THESIS

Dokoupil, O. Reliability of City Transport Vehicles Evaluation: a bachelor thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Institute of Transport, 2010, 50 p. Supervisor: Famfulík, J.

Bachelor's thesis deals with reliability of city transport vehicles evaluation. In the introduction there are described the terminology and principles that characterize reliability. Reliability is represented by random variables and their proper distribution (Exponential, Waibull's). According to experimental data provided by transport companies, which handle bus transport, two types of buses are compared. The random variables which define the reliability and the predicted technical condition of the vehicle are described. For better comparison of the bus producers also the reliability of particular components of the vehicle is compared. In conclusion, the vehicles are rated economically and the estimated yearly expenses for service are evaluated.

## Obsah:

	strana
<b>0. Úvod:</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Popis struktury analyzovaného parku vozidel</b> .....	<b>5</b>
1.1. O firmě.....	5
1.2. Vozidlový park.....	5
1.3. Popis vozidla – technická data.....	7
<b>2. Metodika posuzování bezporuchovosti</b> .....	<b>8</b>
2.1. Základní pojmy.....	8
2.1.1. Proces obnovy.....	10
2.1.2. Sběr dat.....	13
2.1.3. Klasifikace poruch podle charakteru jejich vzniku.....	13
2.3. Základní pojednání o náhodných veličinách.....	14
2.4. Metody stanovující typ náhodné veličiny.....	16
2.5. Základní rozdělení pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny.....	17
2.5.1. Exponenciální rozdělení $Ex(\lambda)$ .....	18
2.5.2. Weibullova rozdělení $W2p$ .....	20
<b>3. Číselná charakteristiky bezporuchovosti</b> .....	<b>23</b>
3.1. Hodnocení vozidel.....	23
3.1.1. Stanovení parametru rozdělení.....	23
3.1.2. Posuzování vozidel.....	26
3.2. Hodnocení jednotlivých konstrukčních podskupin vozidel.....	28
<b>4. Závěr a technicko – ekonomické zhodnocení</b> .....	<b>40</b>
<b>Použitá literatura</b> .....	<b>44</b>
<b>Přílohy</b> .....	<b>45</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek</b> .....	<b>48</b>

## Použité značení:

IEC	mezinárodní norma Mezinárodní elektrotechnické komise IEC (International Electrotechnical Commission)
CD	datový nosič, který je součástí bakalářské práce
$f(t)$	hustota pravděpodobnosti
$F(t)$	distribuční funkce
$P(A)$	pravděpodobnost nastoupení jevu $A$
$R(t)$	bezporuchovost
$R^2$	index shody
$t$	doba do poruchy [h]
W2P	dvouparametrické Weibullova rozdělení
$\Gamma$	gama funkce

## 0. Úvod:

Bakalářská práce se zabývá hodnocením bezporuchovosti vozidel HMD a jejich konstrukčních částí. Bezporuchovost se hodnotí pomocí náhodné veličiny.

V bakalářské práci jsou hodnocena a porovnávána vozidla SOR a Karosa řady 900. Data pro hodnocení bezporuchovosti vozidel poskytla firma Veolia Transport Morava a.s., provozní jednotka Šumperk.

První část bakalářské práce se zabývá základními informacemi o spolehlivosti a o procesu obnovy. Spolehlivost objektu se popisuje pomocí náhodných veličin. Jedním ze tří částí popisujících spolehlivost objektu je bezporuchovost. Pro hodnocení bezporuchovosti se nejčastěji používá Exponenciální nebo Waibullovo rozdělení náhodné veličiny.

Na základě experimentálních dat, poskytnutých z dopravní firmy zabývající se autobusovou dopravou, jsou porovnávány dva typy autobusů. Pomocí těchto dat, popisujících náhodné veličiny, se určí bezporuchovost a předpokládaný technický stav vozidel. Pro bližší srovnání výrobců autobusů, jsou porovnávány na bezporuchovost i jednotlivé konstrukční části vozidel. Technický stav je popisován pomocí středního kilometrického proběhu mezi poruchami.

Na závěr jsou vozidla hodnocena i z ekonomického hlediska, kde jsou číselně odhadnuty roční náklady na údržbu. Hodnoceny jsou i výrobci porovnávaných autobusů, u kterých se určí, který výrobce je ekonomicky více příznivý z hlediska nákladů na celkový vozidlový prak společnosti.



# 1. Popis struktury analyzovaného parku vozidel

## 1.1. O firmě

Veolia Transport je jednou ze čtyř mezinárodního koncernu Veolia Environnement. Společnost se zabývá vodním hospodářstvím, odpadovým hospodářstvím, hospodaření s energií, nákladní a osobní dopravou. Hlavním předmětem činnosti firmy je veřejná osobní linková autobusová, železniční a lodní doprava a na některých trzích také nákladní doprava [1].

Veolia Transport má na území České republiky čtyři dceřiné společnosti Veolia Transport Morava a.s., Veolia Transport Praha s.r.o., Veolia Transport Teplice s.r.o., Veolia Transport Východní Čechy a.s. Převážná většina činnosti firmy na území České republiky je osobní linková autobusová doprava, dále firma provozuje drážní dopravu, ale pouze na Železnici Desná, která je majetkem Svazku obcí údolí Desné.

Firma Veolia Transport Morava a.s. provozuje osobní autobusovou dopravu na území Olomouckého a Moravskoslezského kraje, částečně působí i na území kraje Zlínském a Pardubickém. Celkem má osm provozních jednotek, které kryjí oblasti Olomouc, Ostrava, Šumperk, Bruntál, Jeseník, Nový Jičín a Třinec.

## 1.2. Vozidlový park

Hodnocení bezporuchovosti vozidel bylo provedeno na vozovém parku firmy Veolia Transport Morava a.s. (dále jen společnost), se sídlem v Šumperku. Společnost zajišťuje hromadnou městskou, meziměstskou i dálkovou dopravu na okrese Šumperk. Provozní jednotka v Šumperku má sídlo na ulici Jesenická 19. Údržba vozidel je prováděna v bývalých prostorách ČSAD (ulice Žerotínova). Společnost má smluvně zajištěnu údržbu a opravu vozidel firmou Kar-Mobil s.r.o. V prostorách areálu má také sídlo firma Adip, spol. s.r.o., která je specializovaná na prodej náhradních dílů nákladních automobilů i autobusů.

Vozidlový park společnosti má na starost provoz a údržbu 49 autobusů, které jsou provozovány ve zdejším kraji.

Společnost disponuje s celkovým stářím vozidlového parku 6,5 let. Převážná většina vozidel jsou od výrobce autobusů SOR, KAROSA a po jednom kuse vlastní autobusy MAN SL222 (r.v.1998), Iveco Daily více v (tab.1.1).

Šumperská městská linkovou doprava má celkem 6 linek a je zajišťována 6 typy autobusů značky Sor BN 12 a Karosa B952

Veřejná linková doprava (příměstské linky) je zajišťována následujícími typy vozidel: Karosa C 734, C 934, C 954; SOR C 12, SOR C 10,5; SOR C 9,5; SOR C 12.

Dálkové linky jsou zajišťovány vozidly značky Karosa (typ C 954, C 955, c 956, Arway), SOR C12.

**Tab.1.1: Vozidlový parku**

<i><b>Výrobce</b></i>	<i><b>Typ</b></i>	<i><b>počet vozidel</b></i>	<i><b>rok výroby</b></i>	<i><b>celkové průměrné stáří vozidel [rok]</b></i>	<i><b>četnost značky vozidel</b></i>
<b>SOR</b>	<b>9,5</b>	1	2000	6,5	53,1%
	<b>10,5</b>	8	2001 - 2006		
	<b>C12</b>	15	2006 - 2009		
	<b>BN12</b>	2	2007 - 2008		
<b>Karosa</b>	<b>C934</b>	10	1996 - 2001		40,9%
	<b>C954</b>	5	2003 - 2005		
	<b>B952</b>	2	2002, 2004		
	<b>C955</b>	2	2002		
	<b>C956</b>	1	2005		
<b>Irisbus</b>	<b>Arway</b>	1	2007		2,0%
<b>Man</b>	<b>SL222</b>	1	1998		2,0%
<b>iveco daily</b>	<b>314</b>	1	2009		2,0%
<i><b>celkový počet vozidel</b></i>		49			

Z tab.1.1 je zřejmé, že nejpočetnější skupinou autobusů společnosti jsou autobusy značky SOR a Karosa řady 900. Tyto dva typy autobusů budou hodnoceny na bezporuchovost v kapitole zabývající se stanovení číselné charakteristiky bezporuchovosti.

V Tab.1.2. jsou vypsány roční kilometrické proběhy jednotlivých typů autobusů. Pro lepší orientaci byly označeny typy autobusů názorně: K - Karosu a S – Sor.

**Tab. 1.2: Kilometrický proběh na konci r. 2008**

<i><b>Tovární značka: KAROSA</b></i>			<i><b>Tovární značka: SOR</b></i>		
<i><b>označení</b></i>	<i><b>km na konci roku 2008</b></i>	<i><b>[km / rok]</b></i>	<i><b>označení</b></i>	<i><b>km na konci roku 2008</b></i>	<i><b>[km / rok]</b></i>
K-A	350 000	35 000	S-A	230 000	56 000
K-B	456 000	60 000	S-B	190 000	53 000
K-C	731 000	64 000	S-C	201 000	56 000
K-D	858 000	47 000	S-D	233 000	47 000
K-E	474 000	44 000	S-E	95 000	80 000
<b>celkem</b>	<b>2 869 000</b>	<b>250 000</b>	<b>celkem</b>	<b>949 000</b>	<b>292 000</b>

### 1.3. Popis vozidla – technická data:

Jsou popsány pouze ty vozidla, která jsou v bakalářské práci hodnoceny na bezporuchovost.

#### **Karosa řady 900**

Karosa řady 900 jsou vozidla vyráběla společnost Karosa Vysoké Mýto v letech 1994 až 2007. Základním modelem této řady jsou meziměstské vozy Karosa C 934 a později vyráběné C 954.

Označení autobusu:

- Písmeno: typ vozu – B (městský a příměstský autobus, anglicky bus), C (meziměstský a linkový autobus, anglicky coach), LC (dálkový a zájezdový autobus, anglicky long distance coach)
- První číslice 9 - označovala 90. léta
- Druhá číslice: délka vozu – 3 = 11 m, 4 = 17 m, 5 = 12 m, 6 = 18 m
- Třetí číslice: 1 = městský s automatickou převodovkou, 2 = předměstský a manuální převodovkou, 3 = regionální s automatickou převodovkou, 4 = meziměstský s manuální převodovkou, 5 a 6 = meziměstský s manuální převodovkou a větším zavazadlovým prostorem (pro delší linky nebo zájezdy)

Pohonné jednotky:

- Karosa C934 - Renault MIHR, 186 – 188 kW, převodovka - Praga 5P 115
- Iveco Cursor F2 B, 228 kW, převodovka - Praga 5P 120

Konstrukční uspořádání Karos řady 900 je hodně obdobná kromě pohonných jednotek.

U novějších vozidel Karosa C 954 byly montovány motory Iveco.

Obsaditelnost vozidel se pohybuje od do - sezení 49 až 53 stání 39 až 35

Pohotovostní hmotnost 10450 kg.

Čerpáno z [2].

#### **Sor**

Firma SOR Libchavy spol. s r.o. označuje své typy autobusů podle celkové délky vozidla 9,5m, 10,5m, 12 m. Další označení B (městsky autobus), N (nízkopodlažní autobus), C (meziměstský autobus).

Autobusy SOR jsou vybavovány motory IVECO (185, 194 a 220 kW).

Všechny vyráběné autobusy SOR jsou vybaveny kotoučovými brzdami na všech nápravách.

Obsaditelnost vozidel se pohybuje od do - sezení 36 až 50 stání 31 až 35

Pohotovostní hmotnost: SOR 9,5 - 7 300kg , SOR 10,5 – 7 750 kg, SOR 12 - 12 8 500 kg

Bližší popis na [3].

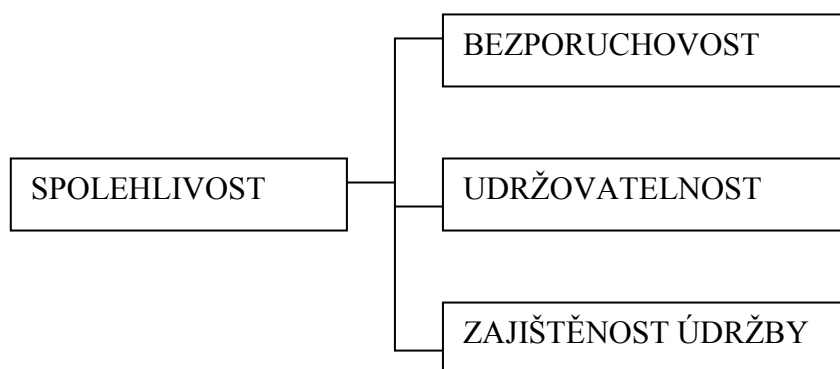
## 2. Metodika posuzování bezporuchovosti

Bezporuchovost je jedním z faktorů hodnotící spolehlivost objektu.

### 2.1. Základní pojmy

Jedním z rozhodujících faktorů, které ovlivňují spolehlivost zařízení, je jeho údržba. Spolehlivost je souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti, který ji ovlivňují: bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby.

Pro výslednou spolehlivost objektu je důležité, zda během jeho provozu je prováděna obnova bezporuchového stavu nebo ne. Podle toho se rozlišují objekty obnovované a neobnovované. Obnova je přitom chápána jako vlastní přechod z poruchového do bezporuchového stavu, zatímco činnost, která je k tomu vedla, se označuje jako oprava. [Daněk, 1999]



**Obr. 2.1: Vymezení spolehlivosti dle ČSN IEC 50 (191)**

Spolehlivost patří mezi nejdůležitější vlastnosti, které charakterizují jakost zařízení a služeb. O tom, jaká bude úroveň spolehlivosti zařízení, rozhoduje řada faktorů. Spolehlivost zařízení je nejvíce ovlivněna projektem (návrh zařízení s požadovanou úrovní spolehlivosti), výrobou zařízení (použitá vhodných materiálu a technologií výroby) a údržbou zařízení.

#### Cílem sledování spolehlivosti je:

Sledování a hodnocení provozní spolehlivosti je potřebné pro podporu mnoha důležitých činností během životního cyklu objektu, a to zejména pro sledování chování výrobku při jejich užívání v provozu pro vyhodnocení dosahované bezporuchovosti a jiných faktorů spolehlivosti, které mají vazbu na vynakládané náklady, případně ztráty [Fuchs].

Výsledkem hodnocení provozní spolehlivosti se využívají zejména k optimálnímu řešení z organizačního a ekonomického hlediska, k návrhu úprav technologického postupu, k upřesnění či úpravě podmínek užívání apod.

Hodnocení spolehlivosti objektů typu finálních výrobků má také velký význam pro výzkum a vývoj výroby, pro případné prokazování spolehlivosti výrobku potenciálním odběratelům, zákazníkům.

Výčet pár pojmů z normy vymezující spolehlivost dle ČSN IEC 50 (191):

Bezporuchovost je schopnost objektu plnit (nepřetržitě) požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém období.

Udržovatelnost je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky. Jedná se tedy o schopnost objektu být udržován v provozuschopném stavu prováděním preventivní a nápravné údržby.

Zajištěnost údržby je schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby. Jde tedy o schopnost organizace zajišťující údržbu objektu zajistit všechny potřebné prostředky, jako jsou náhradní díly, spotřební materiály, nářadí, přípravky, diagnostické prostředky, kvalifikované pracovníky atd., v souladu se stanovenou koncepcí údržby.

Údržbou se rozumí kombinace všech technických a administrativních činností, včetně činností dozoru, zaměřených na údržbu objektu ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci. Z hlediska údržby jsou podstatná preventivní údržba a údržba po poruše.

Preventivní údržba: Údržba prováděna v předem určených intervalech nebo podle předepsaných kritérií a zaměřena na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu.

Údržba po poruše: Údržba prováděna po zjištění poruchy stavu a zaměřena na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.

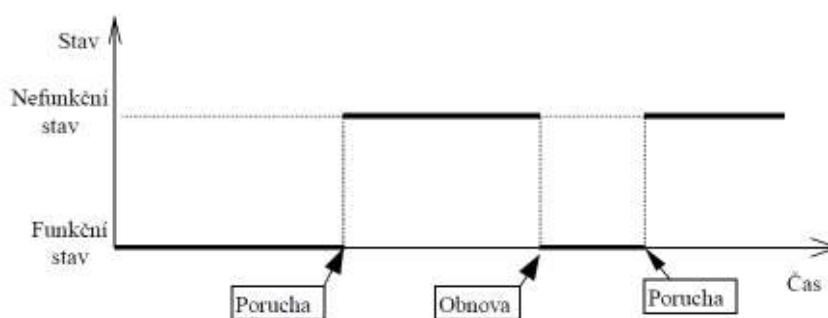
Pohotovost: je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky.

### 2.1.1. Proces obnovy

U objektu je možné sledovat řadu vlastností, které potřebujeme sledovat a hodnotit. Nejčastěji sledované vlastnosti objektu je jeho spolehlivost vyjádřená dílčími vlastnostmi, jako je pohotovost, bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby.

Sledovaný objekt je objekt charakterizovaný dvěma stavy: provozuschopným stavem a stavem poruchy. K těmto stavům dále přistupuje stav prostoje, kdy objekt v době používání není v provozu. Poruchou rozumíme jev, při kterém přechází vyšetřovaný objekt z provozuschopného stavu do stavu poruchy. Naopak obnova je jev spočívající v obnovení schopnosti plnit po poruše požadovanou funkci.

Systém se může obecně nacházet v mnoha různých stavech. V technické praxi se nejčastěji vyskytují případy, kdy prvky (systému) jsou charakterizovány diskrétními stavy a spojitým časem. Objekt se může v libovolném okamžiku nacházet v jednom ze dvou stavů a přechody mezi nimi se náhodně střídají. Tento proces, který bývá označován jako prostý proces obnovy (obr.2.2.) Obnova je chápána jako souhrn cílevědomých činností, vedoucí k udržení či obnovení provozuschopnosti objektu.



**Obr. 2.2.: Proces obnovy [Fuchs]**

Proces přechodů mezi jednotlivými stavy je charakterizován dvěma základními parametry: okamžitou intenzitou poruch  $\lambda(t)$ , okamžitou intenzitou oprav  $\mu(t)$ .

Pokud funkční (provozuschopný) stav označíme symbolem  $I$  a nefunkční (neprovozuschopný) stav symbolem  $\theta$ , lze vyjádřit zjednodušený diagram přechodu mezi stavy obr.2.3. [Mykiska, 2000]



**Obr. 2.3: Přechod mezi stavy [Fuchs]**

Rozlišují se dva stavy obnov, popsáno ve skriptech [Famfulík, 2007]

- proces s okamžitou obnovou,
- proces s konečnou dobou obnovy

**Proces s okamžitou dobou obnovy** – uvažujeme tehdy, pokud je doby obnovy prvku nebo soustav zanedbatelně malá vzhledem k době bezporuchového stavu. Tento proces odpovídá provozu se zálohováním.

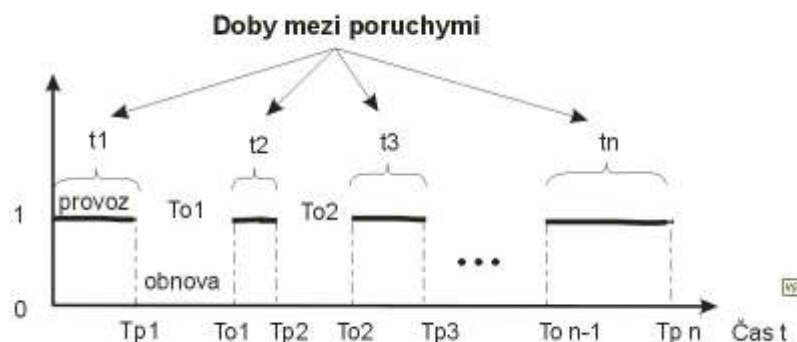
**Proces s konečnou dobou obnovy** – doba provozu se předpokládá náhodná stejně jako doba obnovy. Dochází ke střídání procesu obnovy a provozní práce obr.2.4.

### Jeden obnovovaný objekt

Předpokládá se, že v každém období platí kumulovaná platná doba provozu, která je vypočtena uplynutím doby provozu s vyloučením dob oprav a jiných dob nepoužívaného stavu, viz. obr.2.4.

Předpokládá se, že u opravovaného pozorovaného objektu uvedeného do provozu po poruše je technický stav „stejný“, jako když byl poprvé uveden do provozu.

Doby mezi poruchami je náhodná veličina, která má své rozdělení, a říkáme jí bezporuchovost. Odvození je dle normy ČSN IEC 61650.



**Obr. 2.4: Obnovované objekty**

Kde:  $t_i$  -  $i$ -ta doba mezi poruchami [h],

$Tp_i$  -  $i$ -tá doba poruchy [h],

$To_i$  -  $i$ -tá doby obnovy [h].

### Vanova křivka:

Spolehlivost objektu bývá v různém období jeho života často odlišná. Tuto skutečnost dobře popisuje tzv. vanova křivka obr.2.5., které popisuje průběh intenzity poruch, pro kterou jsou typický tři období.

#### Období časných poruch $<0, t_1>$

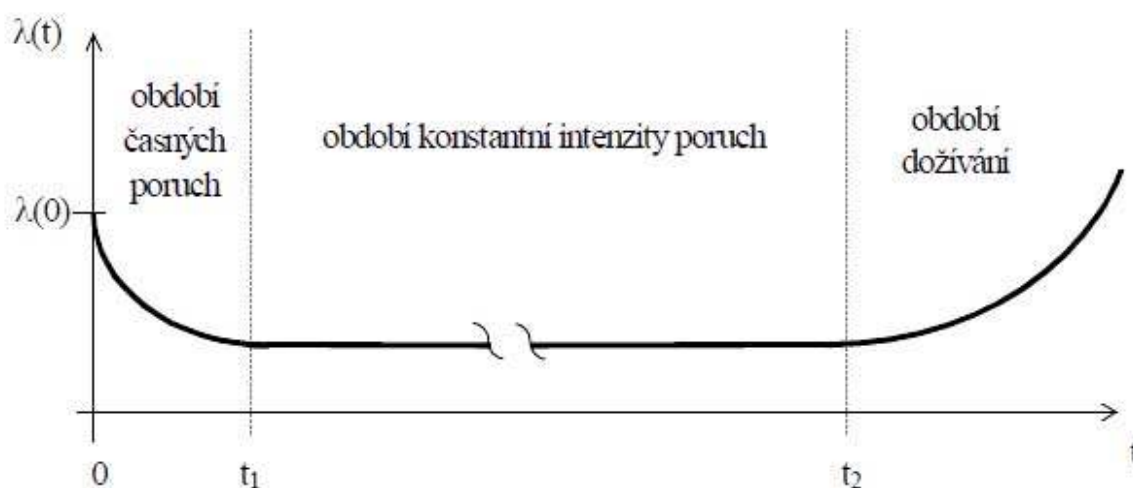
V tomto časovém období intenzita poruch klesá a teda bezporuchovost objektu se zlepšuje. Příčinou časných poruch jsou nedostatky v konstrukci, výrobě a montáži, které nebyly odhaleny používanými postupy kontrol a zkoušek, přičemž tyto nedostatky se po uvedení objektu do provozu projeví poruchou. Parametr tvaru  $m < 1$

#### Období konstantní intenzitou poruch $<t_1, t_2>$

Hodnota intenzity poruch je konstantní. Poruchy v tomto období jsou způsobeny pouze náhodnou příčinou. Parametr tvaru  $m = 1$

#### Doba dožívání $<t_2, t_{\text{vyřazení}}>$

Intenzita poruch s časem roste v důsledku trvale narůstajícího působení mechanismů stárnutí, opotřebení a koroze. Parametr tvaru  $m > 1$



Obr. 2.5 : Vanova křivka – charakteristiky průběh poruch  $\lambda(t)$  [Mykiska, 2000]



### 2.1.2. Sběr dat

Hodnocení provozní bezporuchovosti je vždy vázáno na sběr potřebných a dostatečně věrohodných dat a informací, a to časových údajů o dobách bezporuchových provozů, dobách různých druhů prostojů, o skutečných podmínkách užívání atd. Zásady pro sběr dat je popsáno v normě ČSN IEC 300-3-2, které se týkají cílů a omezení sběru dat, zdrojů a metod sběru dat, volby požadovaného rozsahu sbíraných dat, analýzu dat a prezentací výsledků.

Při návrhu sběru dat, týkajícího se shromažďování dat o provozních podmínkách, se doporučuje brát v úvahu tyto informace

- Časová informace: datum a čas vzniku poruchy, datum a čas obnovy provozuschopnosti, provozní doba a činitel využití, doba nepoužitelného stavu.
- Závažnost poruchového stavu: identifikace narušených funkcí, následky poruchového stavu
- Provedená opatření: výměna součástí nebo dílů, seřízení, úpravy, mazání atd.
- Příčiny poruch: inherentní (vnitřní) porucha ve sledovaném objektu, porucha z nesprávného použití, porucha vyvolaná údržbou nebo správnými úkony, externí (vnitřní) porucha mimo sledovaný objekt, závislá porucha (způsobená poruchou jiného objektu), porucha vlivem zablokování (tj. přechod do stavu, porucha vlivem lidské chyby, konstrukční porucha apod.) [Mykiska, 2000]

### 2.1.3. Klasifikace poruch podle charakteru jejich vzniku

Postupné poruchy – vzniká jako důsledek degradačního procesu, dochází, tak ke zhoršování počátečních vlastností prvku. Základním rysem tohoto typu je závislost pravděpodobnosti vzniku poruchy na čase. Jinak řečeno, čím déle je prvek zatěžován, tím se zvyšuje pravděpodobnost poruchy. Ne každý prvek má stejnou dobu opotřebení, některé prvky se rychleji opotřebí a druhé naopak pomaleji.

Preventivní údržbou lze zabránit vzniku poruchy. Degradace poruchy je poměrně pomalá a lze ji identifikovat a provést vhodné kroky k jejímu zabránění, nebo alespoň k omezení důsledků při vzniku poruchy.

Náhlé poruchy – vznikají v důsledku vlivu vnějšího působení (přetížení konstrukce). V tomto případě je preventivní údržba téměř neúčinná. Pravděpodobnost vzniku těchto poruch je řízeno vnějšími podmínkami, nesouvisí se spolehlivostí výrobku. Náhodná porucha může vzniknout v důsledku havárie.

Porucha kombinovaná – vzniká inicializací přetížením systému a následuje rozvoj poruchy. Pro zabránění vzniku poruchy je dosti účinná preventivní údržba systému. Blížeji popsáno ve skriptech [Famfulík, 2007].

## 2.2. Ukazatelé bezporuchovosti:

Ukazatele bezporuchovosti je funkce nebo hodnota používaná pro popis náhodné proměnné nebo náhodného procesu.

**Tab. 2.1: Ukazatelé bezporuchovosti obnovovaných objektů**

Sledované vlastnosti	Sledované veličiny	Ukazatelé spolehlivosti	Označení	Jednotky
Bezporuchovost	Doba provozu mezi poruchy	Pravděpodobnost bezporuchového stavu	$R(t_1, t_2)$	-
		Intenzita poruch	$\lambda(t_1, t_2)$	$1 \cdot h^{-1}$
		Střední doba provozu do poruchy	MTTF, $T_s$	h

## 2.3. Základní pojednání o náhodných veličinách

Náhodná veličina je proměnná, jejíž hodnota je jednoznačně určena výsledkem náhodného jevu (např. vznik poruchy). Náhodná veličina je definovaná typem rozdělení a parametrem rozdělení.

Chování objektu se většinou sleduje v čase, v některých případech je možné poruchy sledovat v závislosti na jiné veličině např. v kilometrech. U většiny objektů může porucha nastat při libovolné hodnotě náhodné proměnné, například v libovolném čase, pak říkáme, že náhodná proměnná je spojitá. U objektů s nespojitou činností, například u relé, může porucha nastat pouze v určitém okamžiku, pak říkáme, že náhodná veličina je diskrétní.

Jistý jev je roven jedné  $P(A) = 1$

Nemožný jev je roven nule  $P(A) = 0$

Náhodný jev je v intervalu  $0 \leq P(A) \leq 1$

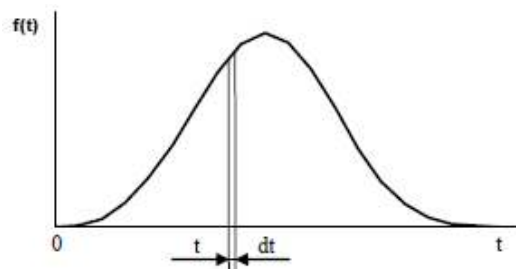
Pravděpodobnost výskytu jevu  $P(A)$  je definována  $P(A) = n / m$ . Kde  $n$  je počet pokusů, kdy jev nastal;  $m$  je celkový počet provedených pokusů. Pravděpodobnost je nezáporná a nabývá hodnoty z intervalu  $<0;1>$ .

- **Hustota pravděpodobnosti:**

Je definována:

$$f(t)dt = P(t \leq T \leq t + dt) \quad (2.3.1)$$

Je funkce, vyjadřující pravděpodobnost, že náhodná veličina  $T$  nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu  $dt$ .



**Obr. 2.6: Hustota pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny [Famfulík, 2007]**

Hustota pravděpodobnosti je nezáporná  $f(t) \geq 0$  a velikost pod křivkou je rovna jedné.

Pomocí histogramu četnosti můžeme definovat průběh hustota pravděpodobnosti (popsáno v kapitole 2.4 vztah histogramu četnosti poruch k volbě vhodného zákona rozdělení náhodné veličiny).

- **Distribuční funkce:**

Distribuční funkce je jedním z prostředků popisu zákona rozdělení a je definována:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt \quad (2.3.2)$$

Distribuční funkce je nezáporná a nabývá hodnoty z intervalu  $<0;1>$ , je funkcí neklesající, spojitá zleva.

- **Intenzita poruch náhodné veličiny**

Je definována jako podmíněná pravděpodobnost, že jev nastane za nekonečně malý okamžik  $dt$  za podmínky, že do okamžiku  $t$  jev nenastane.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (h^{-1}) \quad (2.3.3)$$

- **Střední hodnota**

Také označována jako střední doba do poruchy.

$$T_s = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (h) \quad (2.3.4)$$

#### ○ **Bezporuchovost**

Součet distribuční funkce a jevu opačného k distribuční funkce (bezporuchovost) se rovná jedné.

Bezporuchovost udává pravděpodobnost, že výrobek se do času  $t$  neporouchá

$$\begin{aligned} F(t) + R(t) &= 1 \\ R(t) &= 1 - F(t) \end{aligned} \quad (2.3.5)$$

## **2.4. Metody stanovující typ náhodné veličiny**

Pro správný výběr parametrů rozdělení, experimentálních dat, se nejdříve sestaví histogram četnosti. Z průběhu histogramu četnosti poruch a znalostí průběhů jednotlivých parametrických rozdělení (popsáno níže), při dalším výpočtu, pak použijeme patřičné parametrické rozdělení (Exponenciální, Weubillovo – které se nejčastěji používají v hodnocení bezporuchovosti). Postup použit ze skript [Famfulík, 2007].

### **Odhad šířky třídy**

Vzorec převzat ze skript [Famfulík, 2007]

$$\Delta T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} \quad (h) \quad (2.4.1)$$

Histogram četnosti musí mít min. 3 třídy a max. 12 výjimečně 15 tříd.

Kde:

$t_{\min}$  je minimální doba provozu do poruchy

$t_{\max}$  - maximální doba provozu do poruchy

$N$  - celkový počet poruch

### **Relativní a kumulativně relativní četnost**

$$X_i = \frac{r_i}{N} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.4.2)$$

$$C_i = \sum_{i=1}^n X_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2.3)$$

Kde.

$r_i$  je absolutní četnost poruch náležející do  $i$ -té třídy,

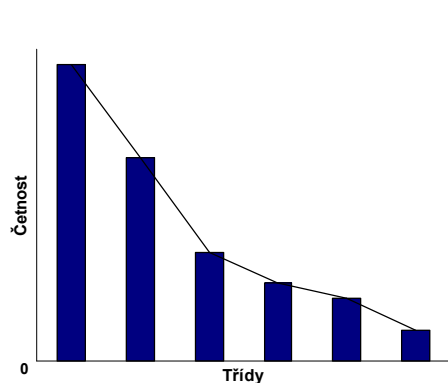
$N$  - celkový počet poruch

$i$  - pořadové číslo třídy,

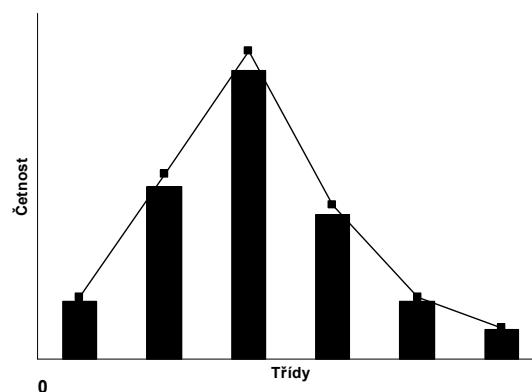
$n$  - celkový počet tříd,

$X_i$  - relativní četnost,

$C_i$  - kumulativně relativní četnost.



a) typické pro Exponenciální rozdělení



b) typické pro Weibullovo rozdělení

**Obr. 2.7: Histogramy relativní četnosti**

V průběhu histogramu nesmí vznikat tzv. propady. Získáme názornější popis hustoty pravděpodobnosti pro následný odhad patřičného rozdělení. Vznik sedel zabráníme rozšiřováním šířky třídy, tak dlouho, až průběh histogramu je plynulý a bez žádných propadů. Správný průběh histogramu je zobrazen na obr.2.7.

## 2.5. Základní rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny

Spolehlivost obnovovaných i neobnovovaných objektů a soustav se dá vyjádřit pomocí pravděpodobností bezporuchového provozu a odvozenými veličinami, jako je hustota poruch, intenzita poruch a střední doba bezporuchového provozu. Chování objektu se zpravidla sleduje v čase, někdy je možné sledovat poruchy v jiné veličině např. v ujetých kilometrech. Nezávislé proměnná je spojit.

Náhodné spojité veličiny můžeme popsat pomocí: Exponenciálního rozdělení, Weibullova rozdělení a Normálního rozdělení. Bezporuchovost se nejčastěji popisuje pomocí Exponenciálního rozdělení a Weibullova rozdělení.

### 2.5.1. Exponenciální rozdělení $Ex(\lambda)$

Exponenciální rozdělení je jednoparametrický s parametrem  $\lambda > 0$ , jeho označení se většinou používá shodné s označením ukazatele intenzity poruch. Časové průběhy ukazatelů  $R(t)$ ,  $F(t)$ ,  $f(t)$  a  $\lambda(t)$  popisuje obr.2.8

#### Hustota pravděpodobnosti

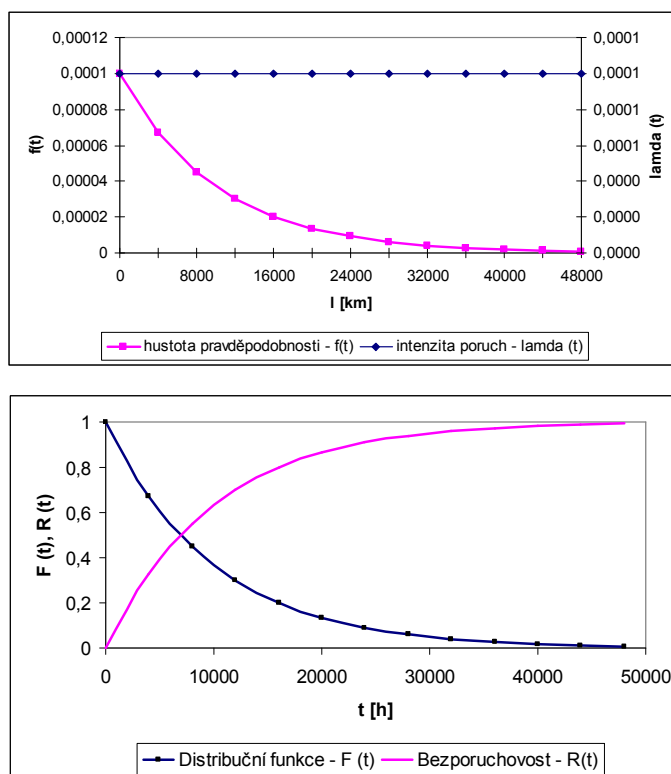
$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.5.1)$$

#### Distribuční funkce

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.5.2)$$

#### Bezporuchovost

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ R(t) &= e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad \lambda(t) > 0; t \geq 0 \quad (2.5.3)$$



Obr. 2.8: Exponenciální rozdělení – časové průběhy ukazatelů  $F(t)$ ,  $R(t)$ ,  $f(t)$  a  $\lambda(t)$

#### Střední doba do poruchy

$$T_s = \frac{1}{\lambda} \quad (h) \quad (2.5.4)$$

#### Intenzita poruch

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{e^{-\lambda \cdot t}} = \lambda = kont. \quad \lambda(t) > 0; t \geq 0 \quad (h^{-1}) \quad (2.5.5)$$

### Odhad $Ex(\lambda)$ parametrů s využitím lineární regrese

Využívá techniky proložení empirických dat přímkou metodou nejmenších čtverců. Prvním krokem je úprava distribuční funkce  $F(t)$  a následná substituce rovnice přímky. Následně se stanoví parametry rovnice přímky proložení empirických dat metodou nejmenších čtverců [Famfulík, 2007]. Výpočet je dobře realizován v tabulkovém procesoru např. MS Excel.

Pravděpodobnost poruchy popisuje distribuční funkce (2.5.2).

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$$

$$1 - F(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\ln(1 - F(t)) = -\lambda \cdot t$$

Směrnice přímky  $y = k \cdot x + q$

$$y = \ln(1 - F(t)) \quad (2.5.6)$$

$$k \cdot x = -\lambda \cdot t \Rightarrow k \approx -\lambda, \quad x \approx t$$

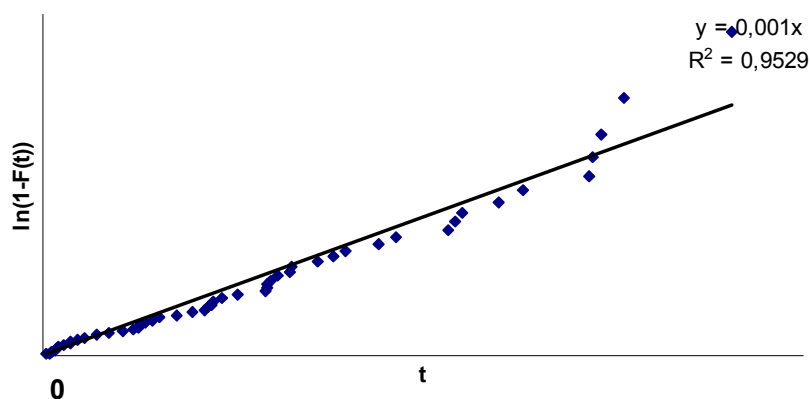
$$q = 0$$

Odhad mediánového pořadí

$$F_i(t) = \frac{n_i - 0,3}{N + 0,4} \quad (2.5.7)$$

Kde:  $n_i$  je i-té pořadové číslo poruchy

$N$  – celkový počet poruch



**Obr. 2.9: Stanovení parametru rovnice přímky**

**Parametr  $\lambda$  :**  $m = 0,001 \rightarrow \lambda = 0,001 \text{ [h}^{-1}\text{]}$

Index shody  $R^2$  nabývá hodnot od 0 do 1, přičemž musí splňovat podmínku, že  $R^2 > 0,9$ . Pokud nesplňuje tuto podmínku, není použito správného rozdělení (Exponenciální nebo Weibullova) a musí se použít jiné rozdělení.

## 2.5.2. Weibullova rozdělení W2p

Dalším často využívaným zákonem rozdělení pravděpodobnosti při řešení úloh spolehlivosti je Weibullova rozdělení, které se pro tyto účely používá velmi často jen jako dvouparametrický.

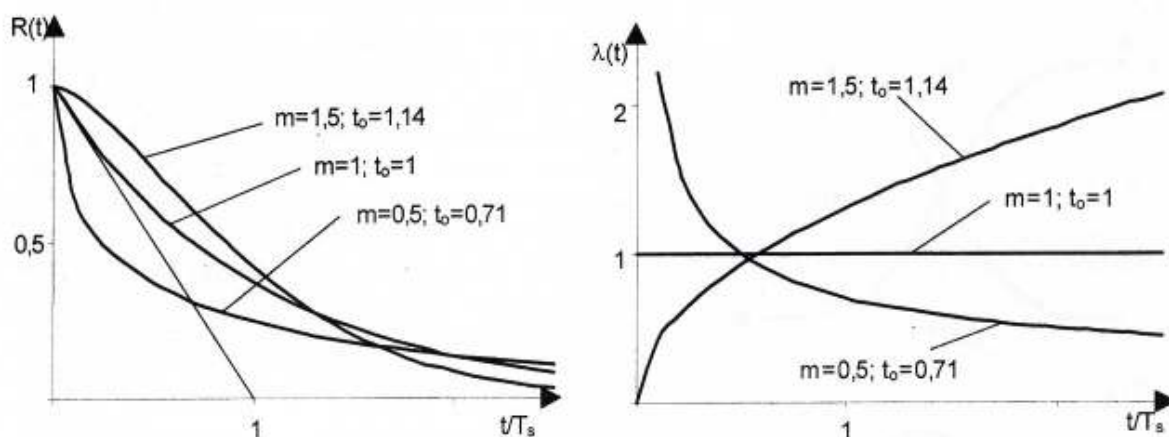
### Hustota pravděpodobnosti

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (2.5.8)$$

Kde:  $t$  čas,  $t \geq 0$   
 $t_0$  - parametr měřítka,  $t_0 > 0$   
 $m$  - parametr tvaru,  $m > 0$

### Distribuční funkce F(t)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (2.5.9)$$



Obr. 2.10: Weibullova rozdělení – časový průběh ukazatelů F(t) a  $\lambda(t)$  [Mykiska, 2004]

### Bezporuchovost R(t)

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}\right)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (2.5.10)$$



### Střední doba do poruch

$$T_s = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (\text{h})$$

Kde:  $\Gamma$  je gama funkce (2.5.11)

### Intenzita poruch

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \quad (\text{h}^{-1}) \quad (2.5.12)$$

### Odhad $W2p$ parametrů s využitím lineární regrese

Metoda lineární regrese má obdobné odvození jak bylo uvedeno výše u Exponenciálního rozdělení.

Pravděpodobnost poruchy popisuje distribuční funkce (2.3.9).

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}$$

$$-\ln(1 - F(t)) = \left(\frac{t}{t_0}\right)^m$$

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = m \cdot \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)$$

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = m \cdot \ln t - m \cdot \ln t_0$$

Směrnice přímky:  $y = k \cdot x + q$

$$y = \ln(-\ln(1 - F(t))) \quad (2.5.13)$$

$$k \cdot x = m \cdot \ln t$$

$$q = -m \cdot \ln t_0 \rightarrow t_0 = \exp(-q / m)$$

Odhad mediánového pořadí (2.5.7)

$$F_i(t) = \frac{n_i - 0,3}{N + 0,4}$$

Kde:  $n_i$  je i-té pořadové číslo poruchy

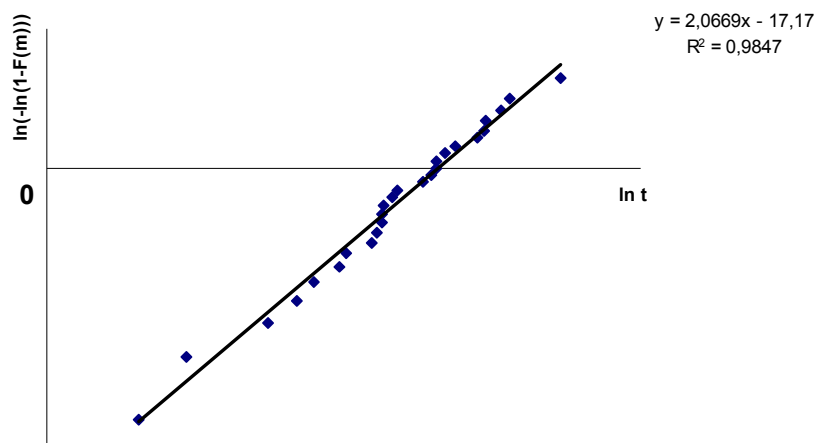
$N$  – celkový počet poruch

Z obr 2.11 se vyjádří parametry W2p rozdělení

Parametr tvaru **m** :  $y = 1,2256x \rightarrow m = 1,0197$

Parametr měřítka **t<sub>0</sub>** :  $t_0 = \exp(-q/m)$

$$q = 17,17$$



**Obr. 2.11: Stanovení parametru rovnice přímky**

Z obr. 2.11. je zřetelné, že index shody  $R^2$  splňuje podmínku  $0,9847 > 0,9 \rightarrow$  W2p rozdělení dobře popisuje empirická data.

Rozdělení s parametrem  $m > 1$  umožňuje dobrý popis bezporuchovosti a životnosti objektu, u kterých se výrazně projevuje vliv opotřebení, únavy, koroze a dalších degradačních procesů. Rozdělení s parametrem  $m < 1$  umožňuje popis bezporuchovosti v počátečních fázích provozu, kdy se projevují výrobní vady. V případě, že je parametr  $m = 1$ , Weibullova rozdělení přechází do exponenciálního rozdělení [Fuchs].

### 3. Číselná charakteristiky bezporuchovosti

V další část bakalářské práce se zabývat hodnocením bezporuchovosti jednotlivých typů vozidel a jejich konstrukčních částí, u kterých se číselně vyjádří střední kilometrický proběh do poruchy. Určí se nejčtenější typy poruch a jejich střední kilometrický proběh. Na závěr se jednotlivé typy autobusu porovnají a určí se, který typ je nejspolehlivější a ekonomicky méně náročný na údržbu.

Pro porovnání byly vybrány dva typy autobusů. Firma poskytla k porovnání pouze 5 typů autobusů od výrobce Karosa řady 900 a Sor. Data vozidel Karosa byla za kalendářní rok 2008 a u vozidel SOR z důvodu menší četnosti poruch za období 2007 – 2008.

#### 3.1. Hodnocení vozidel

Postupu řešení:

Z experimentálních dat se vypočítají kilometrické proběhy mezi poruchami dle obr.2.4. Následně z těchto dat je sestaven histogram četnosti poruch, který je popsán v kapitole 2.4. Z průběhu histogramu charakterizujeme, zda se přibližuje Exponenciálního nebo Weibullova rozdělení. Pomocí lineární regrese stanovíme parametry rozdělení pro  $Ex(\lambda)$  nebo  $W2p$ , následně se určí  $T_s$ , který nám na závěr popisuje, v jakém technickém stavu se vozidlo nachází.

Pro zpracování dat bylo použito tabulkového editor MS Excel.

##### 3.1.1. Stanovení parametru rozdělení

Číselné vyjádření pro vozidlo K-A

Odhad šířky třídy – vzorec (2.4.1)

$$\Delta T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} = \frac{9400 - 85}{1 + 3,3 \cdot \log(9)} = 2245 [km] \text{ bylo}$$

zaokrouhleno na  $\Delta T = 2300 [km]$

Pomocí funkce histogram (MS Excel), byly jednotlivé poruchy zařazeny do tříd, které následně jsou vyjádřena četností poruch.

**Relativní četnost X:** - vzorec (2.4.2)

$$X_1 = \frac{r_1}{N} = \frac{4}{9} = 0,44$$

**Tab. 3.1: data poruch vozidla K-A**

p.č $n_i$	kilometrické proběh mezi poruchami $t_i [km]$
1	85
2	276
3	1001
4	1782
5	2784
6	3506
7	4674
8	8605
9	9400

**Kumulativní četnost C:** - vzorec (2.4.3)

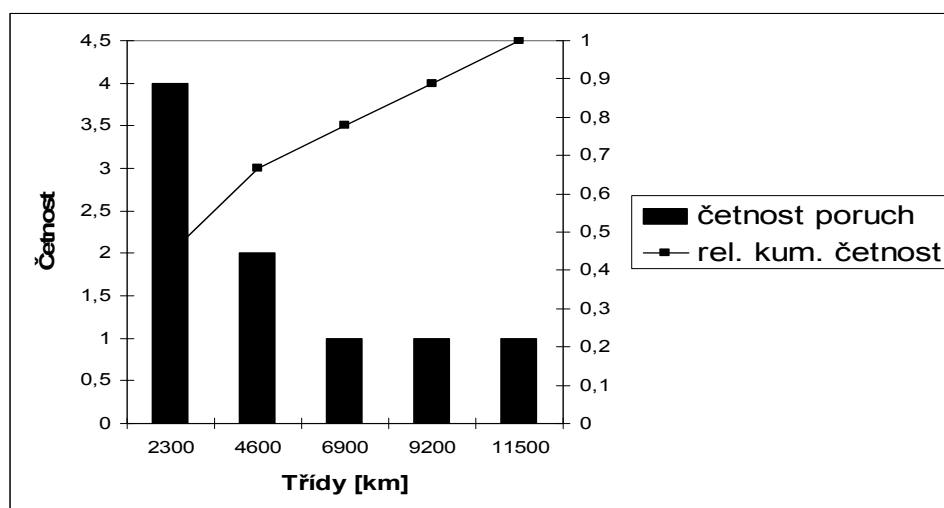
$$C_2 = \sum_{i=1}^2 X_2 = 4 + 2 = 6$$

**Relativní kumulativní četnost XC:** aplikace vzorce (2.4.2)

$$XC_2 = \frac{c_2}{N} = \frac{6}{9} = 0,66$$

**Tab. 3.2:** Tabulka četnosti poruch pro sestavení histogramu

$n_i$	<i>Třídy</i>	<i>Četnost</i>	<i>Relativní četnost</i>	<i>Kumulativní čet.</i>	<i>Relativní kum. Čet.</i>
1	2300	4	0,444	4	0,444
2	4600	2	0,222	6	0,666
3	6900	1	0,111	7	0,777
4	9200	1	0,111	8	0,888
5	11500	1	0,111	9	1



**Obr. 3.1:** Histogram četnosti poruch vozidla K-A

Z obr 3.1 je zřejmé, že graf četnosti poruch je nerostoucí a má charakteristiku Exponenciálního rozdělení.

Pomocí metody lineární regrese sestavíme rovnici přímky obr.3.2.

▪ Vzorový výpočet pro odhad parametrů pro Ex ( $\lambda$ ) rozdělení pomocí lineární regrese:

- 1.řádek, vozidlo K-A kilometrický proběh do poruchy 85 [km]. Pomocí vzorců (2.5.6) a (2.5.7) je sestavena tab.3.3

$$F_1(t) = \frac{n_1 - 0,3}{N + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,074$$

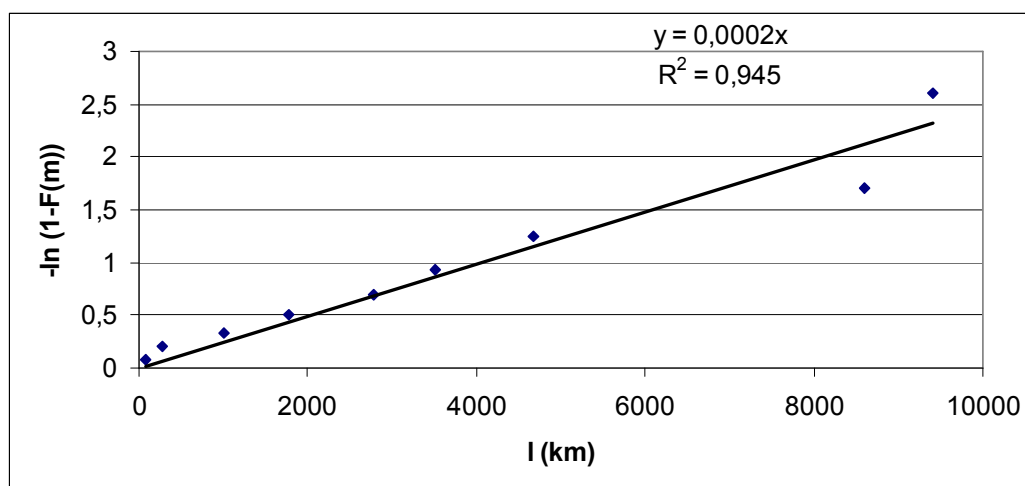
$$y_1 = -\ln(1 - F_1(t)) = -\ln(1 - 0,074) = 0,077$$

**Tab. 3.3 : Hodnoty pro sestavení grafu – lineární regrese**

p.č. $n_i$	$l_i$ [km]	$F_{i(m)}$	$y_i$
1	85	0,074	0,077
2	276	0,181	0,199
3	1001	0,287	0,339
4	1782	0,394	0,500
5	2784	0,500	0,693
6	3506	0,606	0,932
7	4674	0,713	1,247
8	8605	0,819	1,710
9	9400	0,926	2,597

Sestaví se bodový graf **X-Y**

Osa: X =  $t_i$     Y =  $y_i$



**Obr. 3.2: Parametry rovnice přímky**

Intenzita poruch

$$y = 0,0002x \rightarrow \lambda = 0,0002 \text{ [km}^{-1}\text{]}$$

Střední kilometrický proběh do poruchy

$$T_s = 1/\lambda = 1/0,002 = 5000 \text{ [km]}$$

Závěr:

Metodou lineární regrese byl stanoven parametr  $Ex(\lambda)$  rozdělení  $\lambda = 0,0002$ . Index shody  $R^2$  splňuje podmínku  $0,945 > 0,9 \rightarrow$  použité rozdělení dobře vystihuje empirická data.

### 3.1.2. Posuzování vozidel

Kilometrický proběh mezi poruchami všech experimentálních dat vozidel mají charakter  $Ex(\lambda)$  rozdělení. Jednotlivé parametry a kilometrické proběhy do první poruchy jsou charakterizovány v tab.3.4. Stanovení parametru pomocí lineární regrese popisující rovnici přímky jsou vloženy v (příloze A). Tabulky s experimentálními daty jednotlivých vozidel je v příloze na CD (přiložené k bakalářské práci).

**Tab. 3.4: Číselné kilometrické proběhy vozidel mezi poruchy**

<i>Karosa</i>	$\lambda [1 \cdot km^{-1}]$	$T_s [km]$	<i>[km] na konci roku 2008</i>
K-A	0,0002	5000	350 000
K-B	0,0003	3333	455 000
K-C	0,0005	2000	730 000
K-D	0,0005	2000	858 000
K-E	0,0004	2500	474 000

<i>SOR</i>	$\lambda [1 \cdot km^{-1}]$	$T_s [km]$	<i>[km] na konci roku 2008</i>
S-A	0,0003	3333	477 000
S-B	0,0002	5000	225 000
S-C	0,0003	3333	190 000
S-D	0,0005	2000	210 000
S-E	0,0002	5000	232 000

Sestavení grafu  $f(l)$ ,  $R(l)$  a  $\lambda(l)$

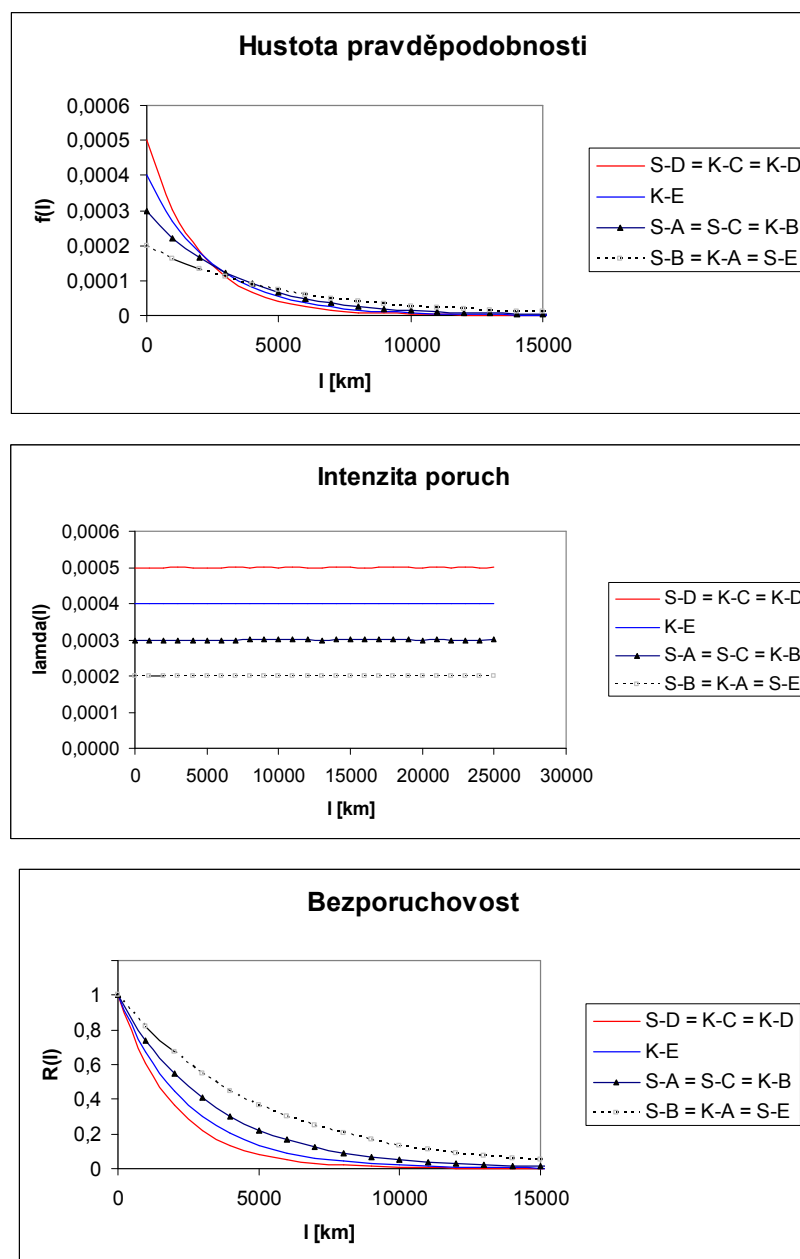
Vyjádřeno pro vozidlo K-A – známe  $\lambda(l) = 0,0002 [km^{-1}]$

Za pomocí vzorců (2.5.1), (2.5.2), (2.5.3), (2.5.5) se vyjádří pro každou hodnotu  $l$  -  $f(l)$ ,  $R(l)$  a  $\lambda(l)$  viz tab.3.5. Celá tabulka je v příloze na CD.

**Tab. 3.5: Vozidlo K-A**

$l(km)$	$f(t)$	$F(t)$	$R(l)$	$\lambda$
0	0,0002	0	1	0,0002
500	0,000180967	0,095162582	0,904837418	0,0002
1000	0,000163746	0,181269247	0,818730753	0,0002
1500	0,000148164	0,259181779	0,740818221	0,0002
2000	0,000134064	0,329679954	0,670320046	0,0002
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21000	2,99912E-06	0,985004423	0,014995577	0,0002

Hodnoty z tab.3.5. jsou vykresleny v obr.3.3 i s ostatními porovnávanými vozidly.



**Obr.3.3: Posuzování vozidel**

Z obr 3.3 můžeme porovnat jednotlivá vozidla z hlediska technického stavu. Obrázek znázorňuje, že vozidla S-D, K-C a K-D jsou nejčastěji v poruše. Vozidla K-C a K-D jsou vozidla, která mají více ujetých kilometrů, v průměru 800000 km, oproti porovnávaným vozidlům. V tomto případě se potvrzuje pravidlo vanovy křivky, s vyšší délkou doby provozu objektu roste i intenzita poruch, především v období dožívání pozorovaného objektu.

Vozidlo S-D se oproti pozorovaným vozidlům naopak vymyká od průměru. Vozidlo má celkem ujetých 210000 km a střední kilometrický proběh vozidla je stejný jako u vozidel, která mají daleko více ujetých kilometru.

Na technický stav vozidla bude mít také vliv jeho požívání: přetěžování vozidel a stav silničních komunikací (nerovnosti vozovky), po které je vozidlo provozováno.

### 3.2. Hodnocení jednotlivých konstrukčních podskupin vozidla

Vozidlo bylo rozděleno do několika konstrukčních podskupin v závislosti na četnosti poruch obsažených v experimentálních datech viz. tab.3.6. Například do skupiny palivová soustava spadají poruchy typu: porucha čerpadla, palivové potrubí a jeho netěsnosti apod.

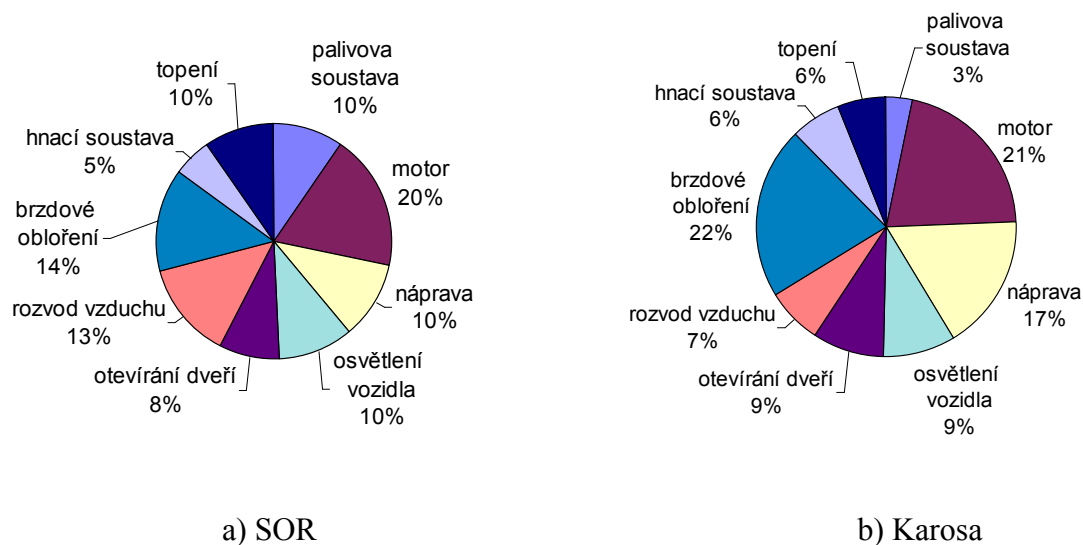
Výpočet relativní četnosti je stejný jako v kapitole 3.1.1.

Tabulky s poruchami jednotlivých konstrukčních podskupin vozidla jsou zařazeny v příloze na CD.

**Tab. 3.6: Četnost poruch**

	SOR		Karosa	
	četnost poruch	Relativní četnost	četnost poruch	Relativní četnost
palivová soustava	13	0,107	5	0,034
motor	25	0,207	31	0,211
náprava	14	0,116	25	0,170
osvětlení vozidla	14	0,116	13	0,088
otevírání dveří	11	0,091	13	0,088
rozvod vzduchu	18	0,149	10	0,068
brzdové obložení	19	0,157	32	0,218
hnací soustava	7	0,058	9	0,061
topení	13	0,107	9	0,061
celkem	121	1	147	1

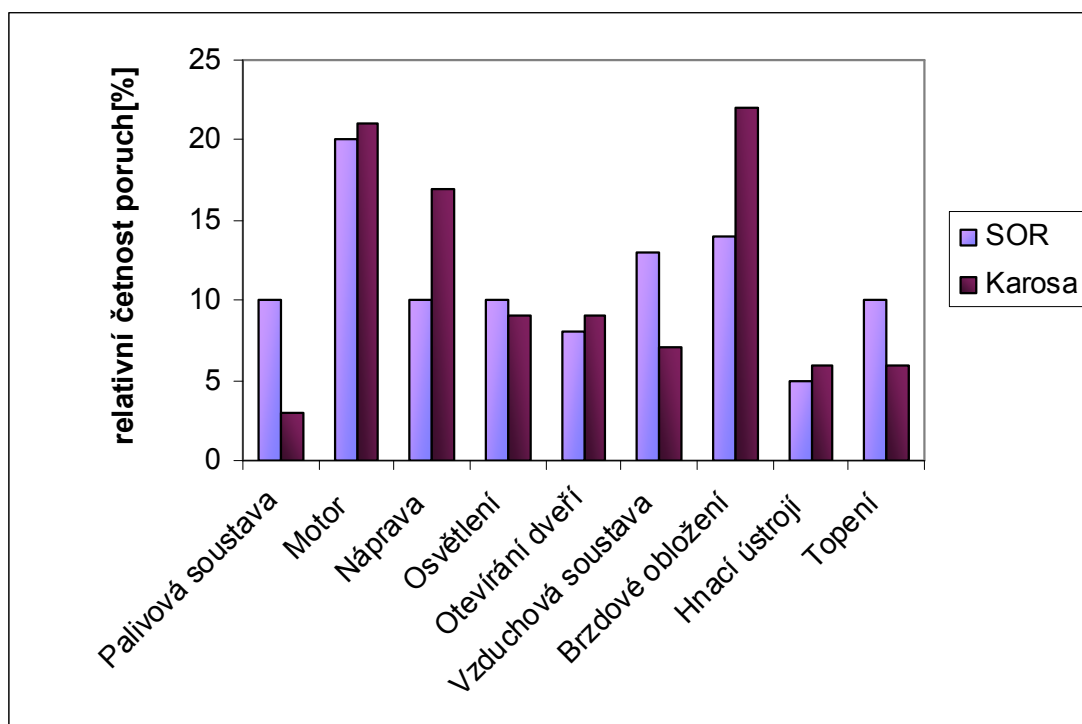
Z tab. 3.6. byl sestaven výšečový graf, který znázorňuje podíl poruch jednotlivých podskupin vozidel na celkovou četnost poruch vozidla viz obr 3.4.



**Obr. 3.4: Četnost poruch**



Pro lepší názornost byl sestaven histogram, kde jsou porovnávány dva výrobci vozidel obr 3.5. Obrázek vystihuje četnost poruch na vozidle. Nejvyšší podíl četnost poruch na vozidle je porucha motoru a naopak nejmenší četnost poruch je palivová soustava u vozidel Karosa.



**Obr 3.5: Četnost poruch**

V dalším postup řešení se pro každou skupinu určí  $T_s$  pomocí náhodné veličiny, které jsou nakonec shrnuty v tab.3.9.

Pro odhad parametrů rozdělení jednotlivých skupin bylo postupováno stejně, jako v kapitole 3.1.1., která popisuje odhad parametru pro  $Ex(\lambda)$  rozdělení. Při výpočtech bylo zjištěno, že pro některá data podskupin vozidel je  $Ex(\lambda)$  rozdělení nevyhovující a bylo použito W2p rozdělení, které lépe popisovalo náhodné veličiny.

U každé skupiny je zobrazen obrázek s parametry rovnice přímky a časovým průběh ukazatelů  $f(f)$ ,  $F(t)$  a  $\lambda(t)$ . V příloze na CD jsou zobrazeny vstupní data a tabulky s výstupními daty každé skupiny.

- Vzorový výpočet pro odhad parametrů pro W2p rozdělení pomocí lineární regrese:

### Pro skupinu NÁPRAVA

První řádek, kilometrický proběh do poruchy 10674 [km]

$$F_1(m) = \frac{n_1 - 0,3}{N + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{14 + 0,4} = 0,049$$

$$\ln(l_1) = \ln(10674) = 9,276$$

$$y_1 = \ln(-\ln(1 - F_1(m)))$$

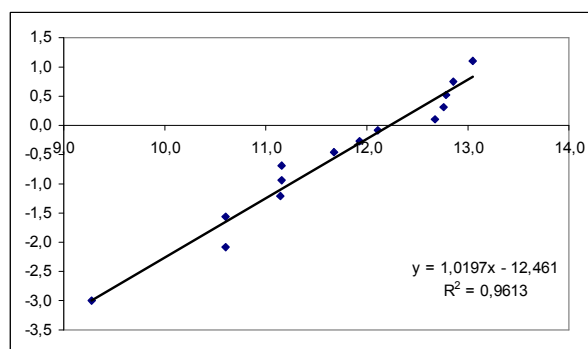
$$y_1 = \ln(-\ln(1 - 0,049)) = -2,999$$

**Tab. 3.7: Hodnoty pro sestavení grafu**

Karosa				
$n_i$	$l_i$ [km]	$\ln(l_i)$	$F_{i(m)}$	$y_i$
1	797	6,681	0,040	-3,193
2	2602	7,864	0,098	-2,275
3	2810	7,941	0,155	-1,780
4	3856	8,257	0,213	-1,431
5	5426	8,599	0,270	-1,156
6	5734	8,654	0,328	-0,924
7	5935	8,689	0,385	-0,721
8	7545	8,929	0,443	-0,537
9	9315	9,139	0,500	-0,367
10	9357	9,144	0,557	-0,204
11	10398	9,249	0,615	-0,047
2	11929	9,387	0,672	0,110
13	12804	9,458	0,730	0,269
14	18842	9,844	0,787	0,437
15	19196	9,862	0,845	0,622
16	29079	10,278	0,902	0,844
17	81195	11,305	0,960	1,167

Sestaví se bodový graf X-Y

Osa: X =  $\ln(l_i)$  Y =  $y_i$



**Obr.3.6: Parametry rovnice přímky**

Z obr. 3.6. je vidět, že index shody  $R^2$

splňuje podmínku  $0,9613 > 0,9$

→ W2p rozdělení dobře popisuje empirická data.

vozidlo Karosa

Parametr tvaru m:

$$y = 1,2256 \rightarrow m = 1,2256$$

Parametr měřítka  $t_0$ :

$$t_0 = \exp\left(-\frac{q}{m}\right) = \exp\left(-\frac{11,522}{1,2256}\right) = 12101[km]$$

Střední kilometrický proběh  $T_s$ :

$$T_s = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad \text{v tabulkovém editoru Excel: } T_s = t_0 \cdot \text{EXP}(\text{GAMMALN}(1+1/m))$$

$T_s = 11\,323$  zaokrouhleno na 11 000 [km]

Závěrem:

W2p rozdělení jsou parametry :  $m = 1,2256$   $t_0 = 12101$

### Sestavení grafu $f(l)$ , $R(l)$ a $\lambda(l)$

Vyjádřeno pro skupinu náprava vozidla Karosa – známe  $m = 1,2256$  a  $t_0 = 12\ 101$

Za pomocí vzorců (2.5.8), (2.5.9), (2.5.10), (2.5.12) se vyjádří pro každou hodnotu  $l$  -  $f(l)$ ,  $R(l)$  a  $\lambda(l)$  viz tab.3.8. Celá tabulka je v příloze na CD.

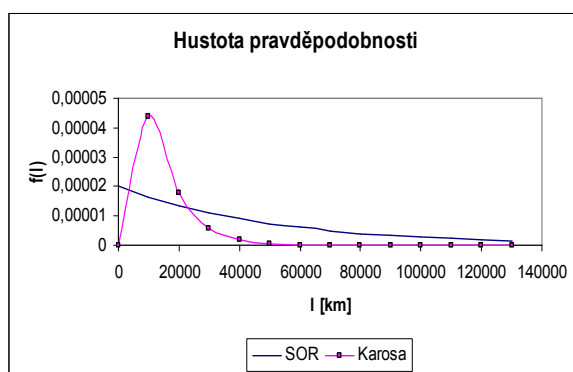
**Tab. 3.8: Náprava vozidla Karosa**

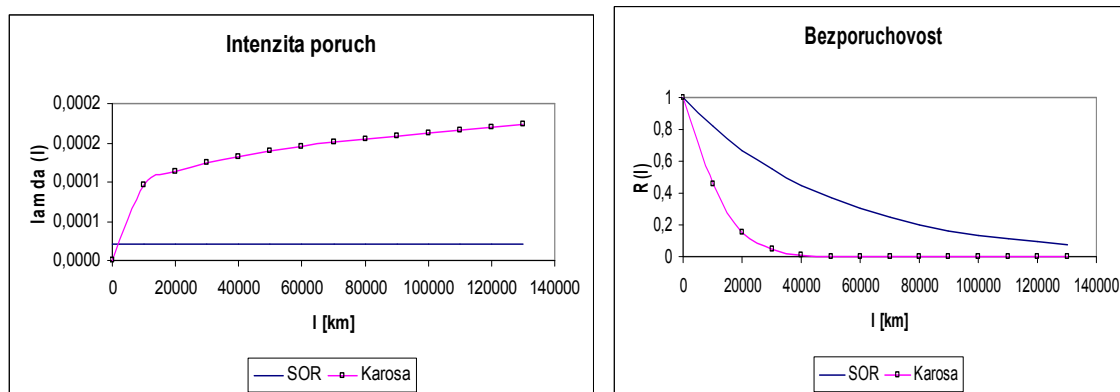
$l(\text{km})$	$f(t)$	$F(t)$	$R(t)$	$\lambda$
0	0	0	1	0
10000	4,39607E-05	0,546871	0,453129	9,70159E-05
20000	1,78164E-05	0,84294	0,15706	0,000113437
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
130000	1,84875E-12	1	1,07E-08	0,000173041

Grafické znázornění bezporuchovosti nápravy vozidel je na obr.3.7. Do grafu jsou vložena data jak z tab.3.8. tak i data vozidel značky SOR, kterému se vstupní data přibližovaly  $Ex(\lambda)$  rozdělení.

Intenzita poruch porovnávaných vozidel je rapidně odlišná. Náprava vozidel Karosa se dostane do poruchového stavu dříve než u vozidel SOR. Vozidlový park Karosy má celkově daleko více ujetých kilometrů než vozidlový park SOR, tudíž opotřebení nápravy bude také úměrný z hlediska celkových ujetých kilometrů vozidel.

Do skupiny poruch „náprava“ byly zařazeny poruchy týkající se: vůle v kulových čepích, vůle v řízení, geometrie nápravy (špatná geometrie, zapříčiňuje špatné sjíždění pneumatik – vyšší opotřebení pneumatik), výměna ložisek kol. Na nápravu se musí brát velký zřetel, patří mezi hlavní vodící elementy vozidla a jeho technický stav má velký vliv na ovladatelnost vozidla. V případě zanedbání některých negativních vlastností nápravy, zapříčiněných provozem vozidla (opotřebení, vůle v čepích, vůle v ložiscích kol apod.) může dojít k ohrožení bezpečnosti silničního provozu i posádky vozidla.

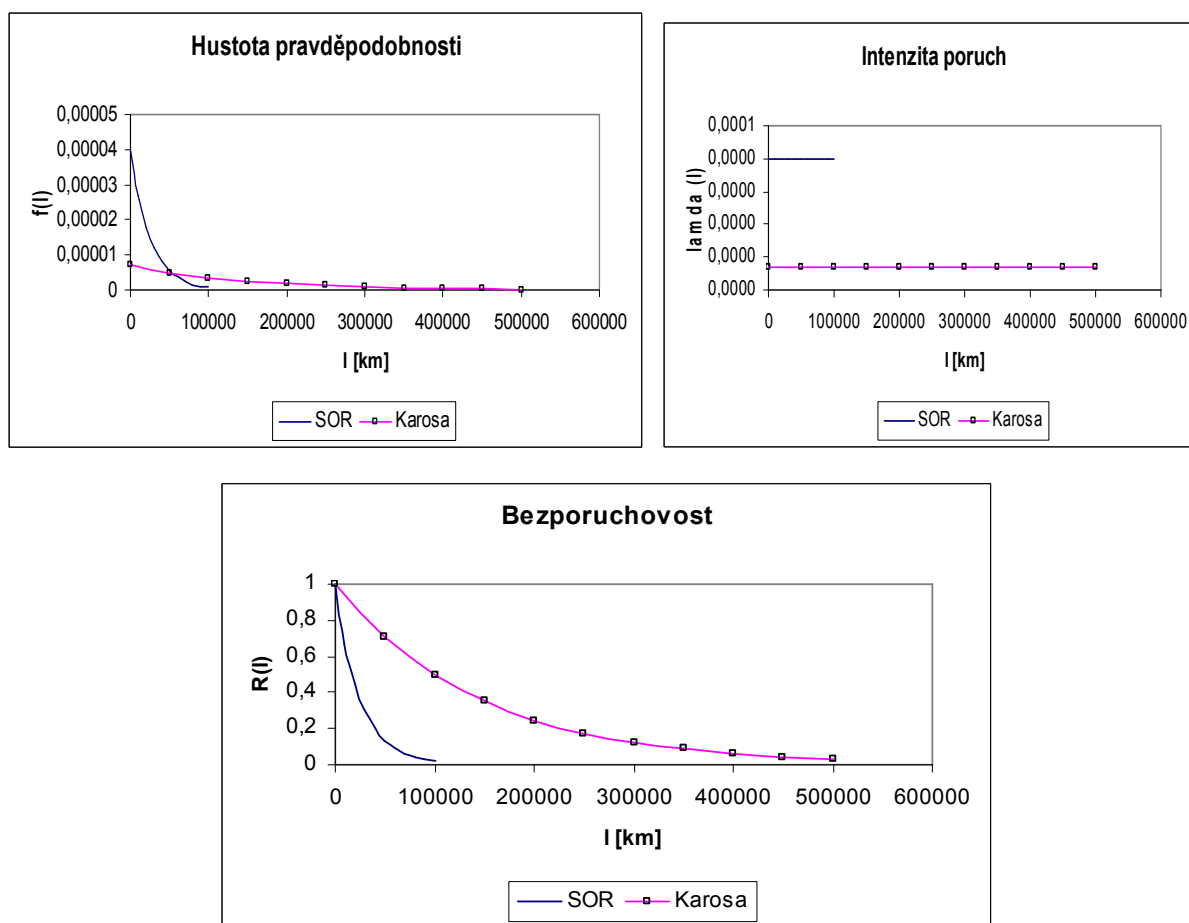




**Obr. 3.7: Charakteristika bezporuchovosti náprav vozidel SOR a Karosa**

### Popis palivové soustavy:

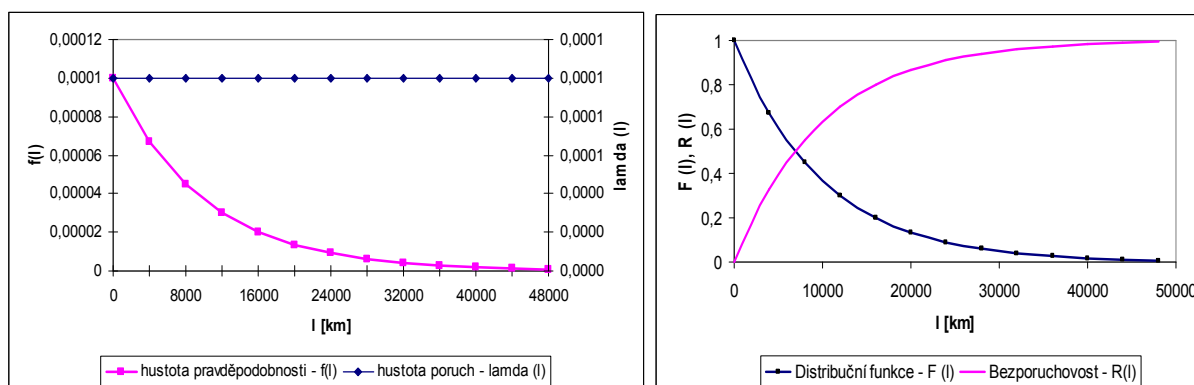
Získaná data pro obě vozidla se přibližují  $Ex(\lambda)$  rozdělení. Níže znázorněné obr. 3.8 popisují průběh bezporuchovosti palivové soustavy. Z obrázku je zřejmé, že vozidlo SOR má vyšší intenzitu poruch, tudíž bude dříve v poruše. Části týkající palivové soustavy patří: palivové potrubí (tesanost), čerpadlo, palivový filtr apod.). Porucha v palivovém systému nemá, až tak velký vliv na bezpečnost posádky, pouze přestane dodávat palivo do spalovacího prostoru a motor se zastaví.



**Obr 3.8: Charakteristika bezporuchovosti palivové soustavy vozidel SOR a Karosa**

### Popis bezporuchovosti motoru:

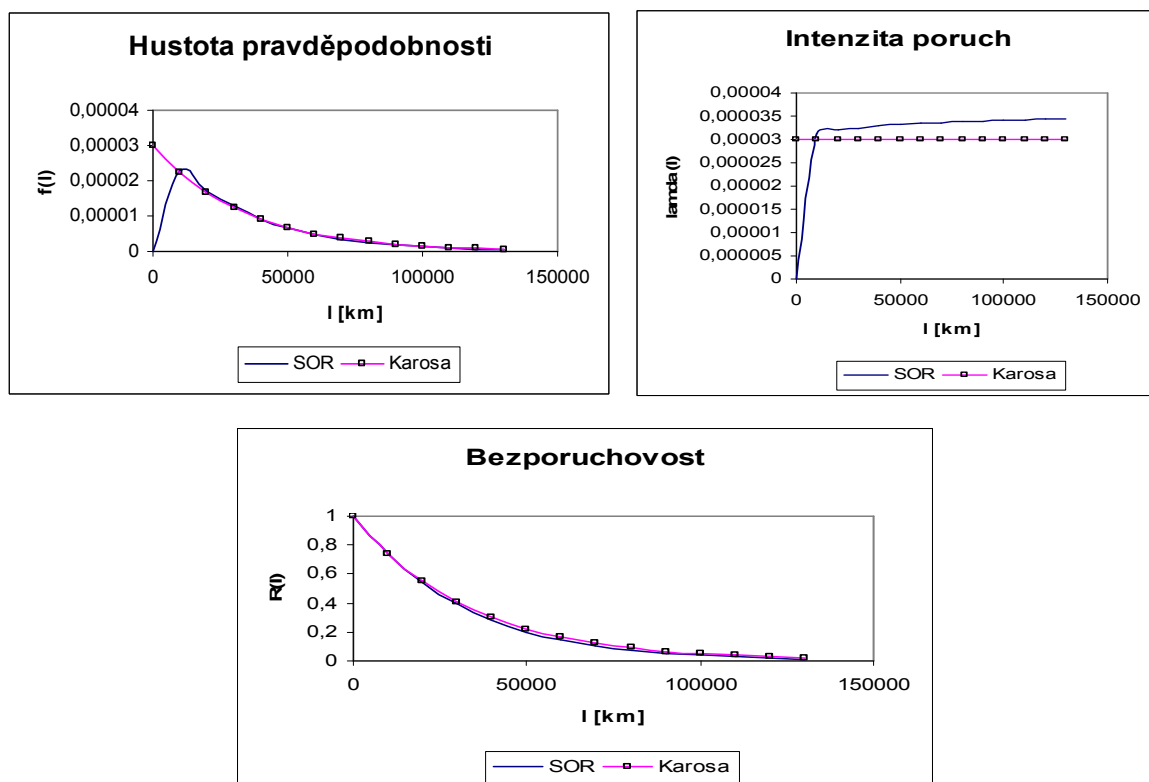
Z obr 3.9, který popisuje rovnici přímky pro  $Ex(\lambda)$  rozdělení je zřejmé, že parametr vozidel  $\lambda$  je shodný. Z teorie o  $Ex(\lambda)$  víme, že parametr  $\lambda$  se rovná intenzitě poruch  $\lambda$ . Charakteristiky o bezporuchovosti vozidel je tedy shodný. Obě dvě vozidla mají zabudován motor od výrobce Iveco. Do této podskupina byly zařazena data o poruše týkající se poruchy chlazení, výměna rozvodů, nepravidelný chod motoru, špatné starty apod.



**Obr. 3.9: Charakteristiky bezporuchovosti motoru vozidel SOR a Karosa**

### Popis bezporuchovosti osvětlení:

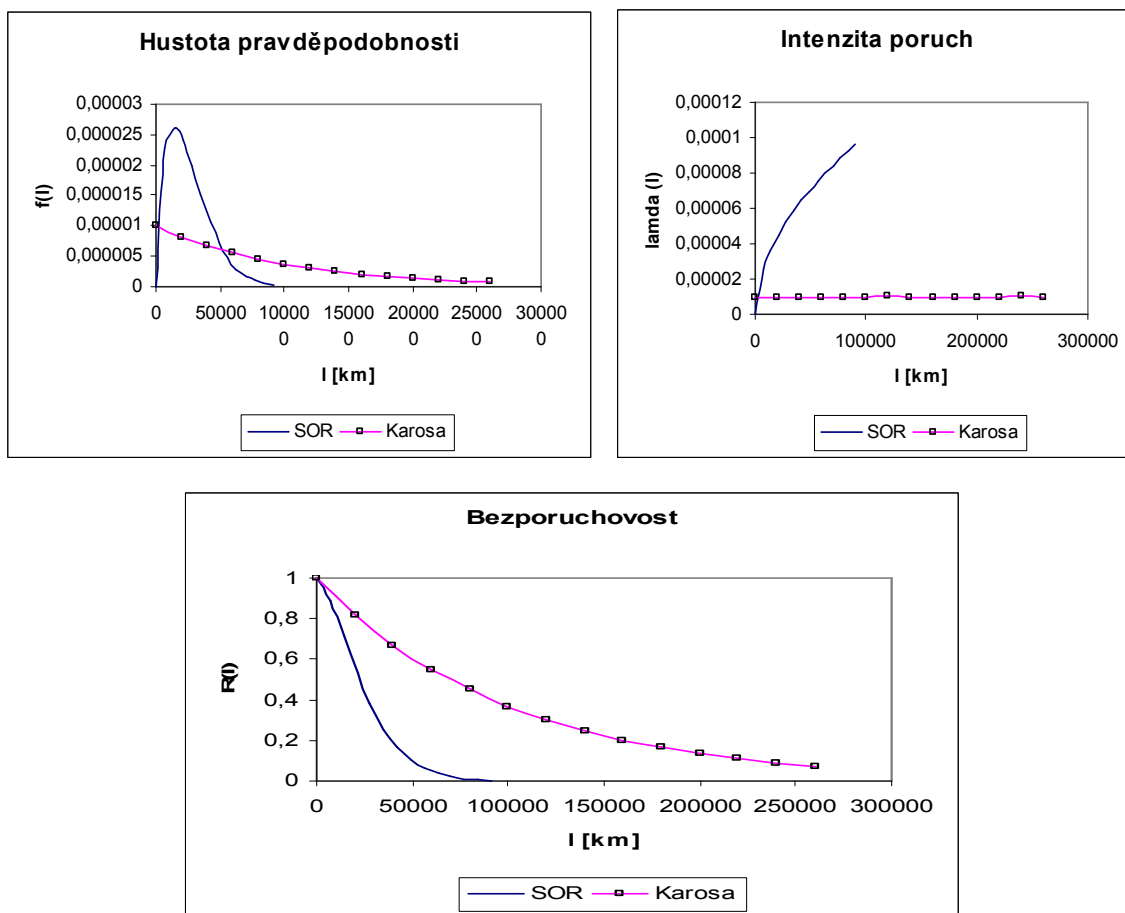
V této podskupině jsou zařazena data, která se týkají poruch osvětlení, jak interiéru, tak exteriéru vozidla. Průběhy intenzit poruch z obr.3.10 mají velmi podobný průběh. Bezporuchovost zkoumaných objektů je také hodně shodný.



**Obr. 3.10: Charakteristiky bezporuchovosti osvětlení vozidel SOR a Karosa**

### Popis bezporuchovosti otevírání dveří:

Do této skupiny byly zařazeny poruchy typu špatné funkce otevírání dveří a zamykání dveří. U vozidla SOR jsou tyto části daleko více v poruše oproti vozidlům Karosa a to v poněkud značné míře viz. obr.3.11. Vozidla SOR používají jiný mechanismus otevírání dveří, dveře jsou jednokřídlé. Vozidla Karosa používají u svých vozidel dvoukřídlé dveře.

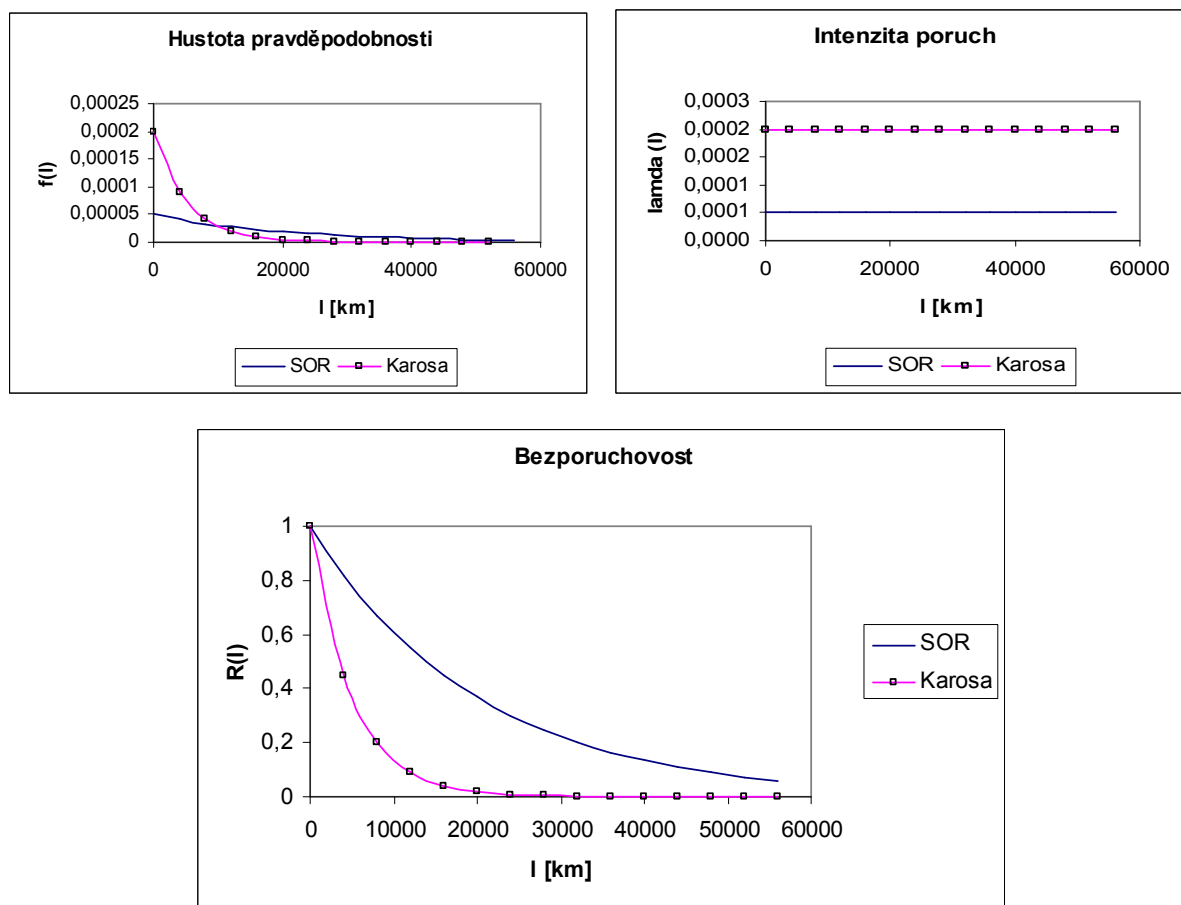


**Obr. 3.11: Charakteristiky bezporuchovosti otevírání dveří vozidel SOR a Karosa**

### Popis bezporuchovosti vzduchové soustavy:

Do této skupiny patří veškeré netěsnosti systému, porucha kompresoru, nečistoty v systému apod. I zde je intenzita poruch velmi odlišná.

Převážná většina vozidel nákladních i autobusů používají pro ovládání brzdového mechanismu stlačený vzduch. Funkčnost vzduchové soustavy má velký vliv na bezpečnost posádky a provozu na komunikacích. Stlačeným vzduchem, je také ovládáno otevírání dveří. Z obr. 3.12. je vidět, že vozidlo Karosa bude daleko dříve v poruše.

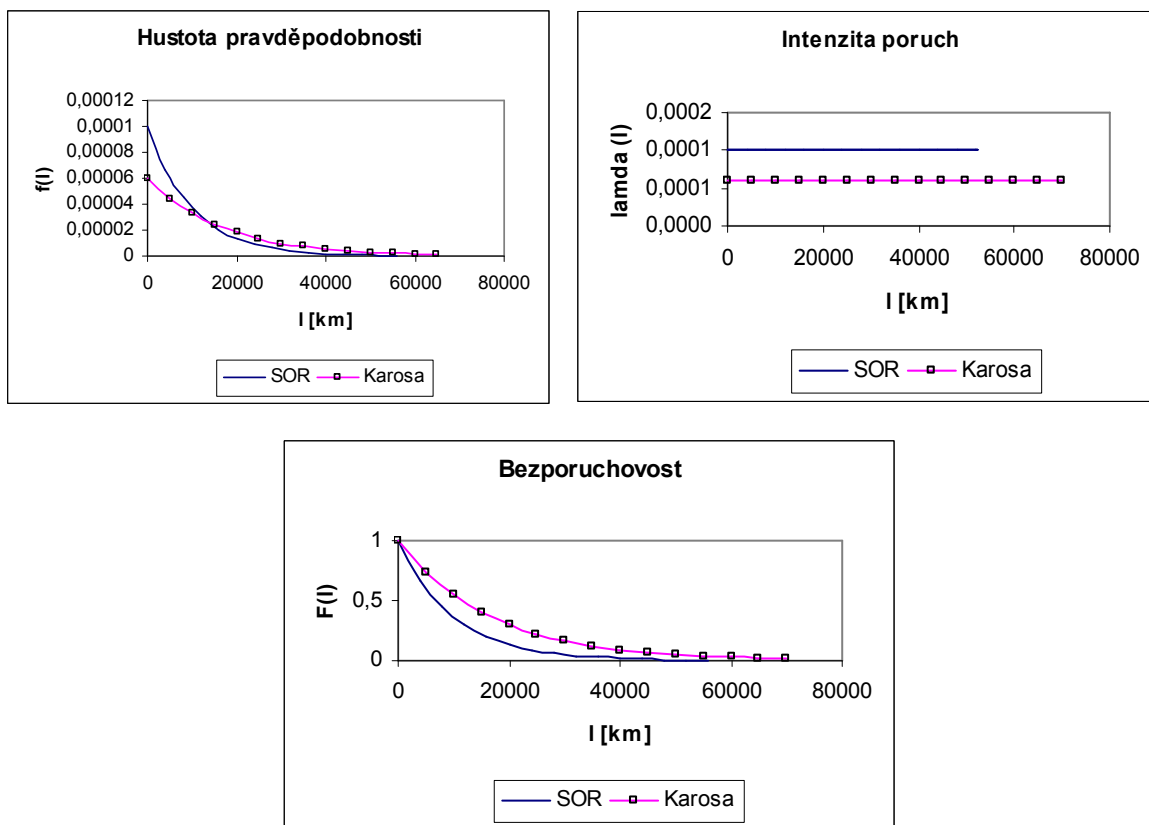


**Obr 3.12: Charakteristiky bezporuchovosti vzduchové soustavy vozidel SOR a Karosa**

### **Popis bezporuchovosti brzdového obložení:**

Z technických dat vozidel bylo zjištěno, že vozidla SOR jsou vybavena na všech kole kotoučovými brzdami oproti vozidlům Karosa, která používá bubnové brzdy. Z obr.3.13 je vidět, že opotřebení obložení kotoučových brzd je daleko vyšší než u bubnových. Faktor, který bude ovlivňovat do jisté míry opotřebení brzdového obložení, bude záviset na stylu jízdy řidiče, a také po jaké lince je daný autobus používán.

Z vypočteného střední kilometrického proběhu mezi poruchami, viz. tab.3.6, můžeme odhadnout výměnu obložení na daném typu vozidla. Pomocí těchto dat můžeme také odhadnout potřebné množství brzdových destiček potřebných na skladu. Touto problematikou se zabývá logistické zajištění údržby vozidel, ale toto není náplní této bakalářské práce.

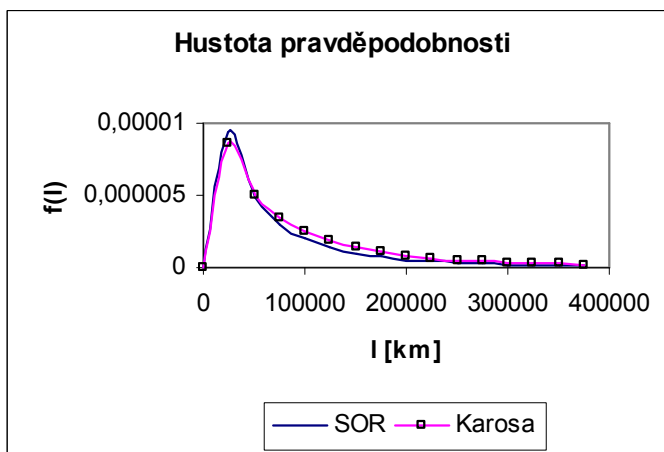


**Obr. 3.13: Charakteristiky bezporuchovosti brzdového obložení vozidel SOR a Karosa**

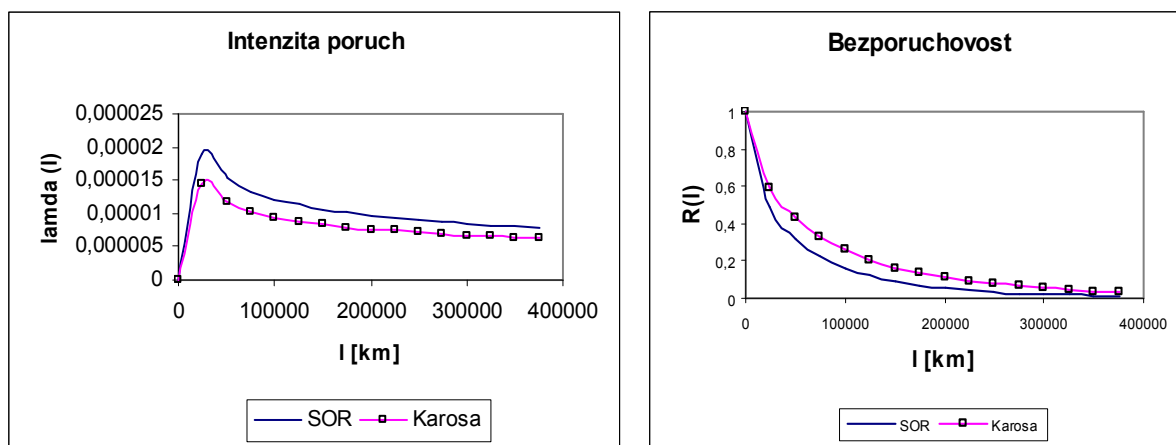
### Popis bezporuchovosti hnacího ústrojí:

Do této skupiny jsem zařadil poruchy týkající se hnacího ústrojí poruchy: spojovacího ústrojí kardanové hřídele, rozvodovky, diferenciálu apod. Poruchy na hnacím ústrojí nemají do jisté míry velký vliv na bezpečný provoz. V případě poruchy hnacího ústrojí vozidlo se ihned stane neprovozuschopným a je zapotřebí poškozené vozidlo odtáhnout do servisu, protože přenášený výkon od motoru není přenášen na obvod kola vozidla.

Vozidlo SOR bude daleko dříve v poruše viz. obr.3.14





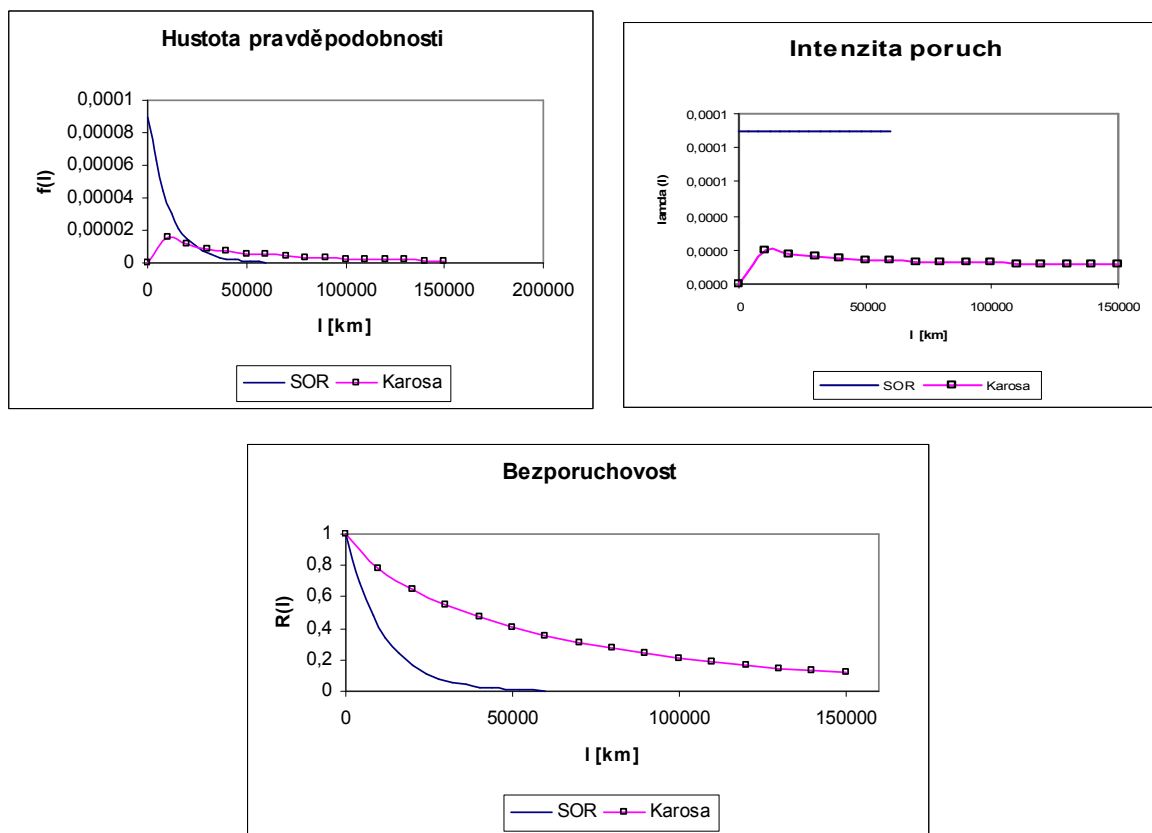


**Obr. 3.14: Charakteristiky bezporuchovosti hnacího ústrojí vozidel SOR a Karosa**

### Popis bezporuchovosti topení:

Poruchy topení má především vliv na pohodlí cestujících. Mezi poruchy topení byly zařazeny poruchy: ventilátoru (pomáhají cirkulaci vzduchu ve vozidle), špatná funkce cirkulace kapaliny v systému topení apod.

U porovnávání vozidel je vidět z obr.3.15., že porucha topení nastane daleko dříve u vozidel SOR než Karosa.



**Obr. 3.15: Charakteristiky bezporuchovosti topení vozidel SOR a Karosa**

Výše popsané konstrukční části vozidel jsou shrnuta v tabulce 3.9., kde jsou i vyjádřeny středním kilometrickým proběhem, který názorněji popisuje doby mezi poruchami.

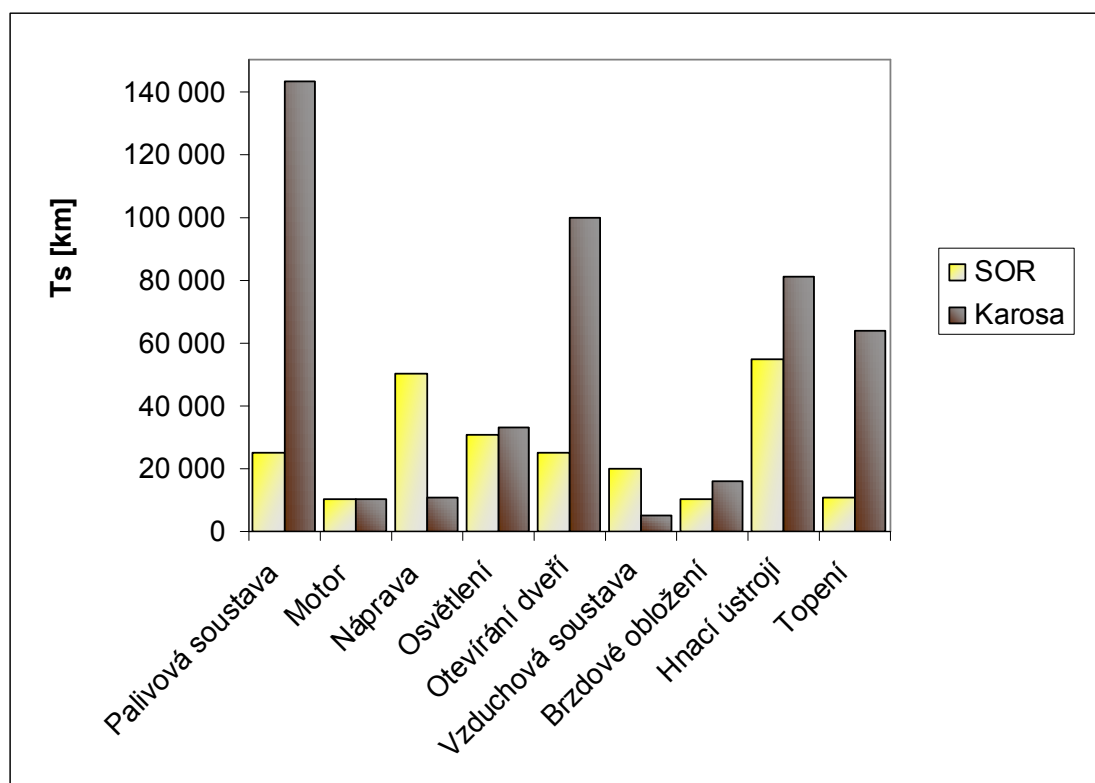
**Tab. 3.9: Střední kilometrické proběhy mezi poruchami**

<i>skupiny</i>	SOR			Karosa			$\Delta T_s$ [km]
	<i>Typ rozdělení</i>	<i>Odhad parametrů</i>	$T_s$ [km]	<i>Typ rozdělení</i>	<i>Odhad parametrů</i>	$T_s$ [km]	
<b>Palivová soustava</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,0004$	<b>25 000</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,000007$	<b>143 000</b>	<b>118 000</b>
<b>Motor</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,0001$	<b>10 000</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,0001$	<b>10 000</b>	<b>0</b>
<b>Náprava</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,00002$	<b>50 000</b>	W2p	$m = 1,2256$ $t_0 = 12101$	<b>11 000</b>	<b>39 000</b>
<b>Osvětlení</b>	W2p	$m = 1,03$ $t_0 = 31902$	<b>31 000</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,00003$	<b>33 000</b>	<b>2 000</b>
<b>Otevírání dveří</b>	W2p	$m = 1,5161$ $t_0 = 28619$	<b>25 000</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,00001$	<b>100 000</b>	<b>75 000</b>
<b>Vzduchová soustava</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,00005$	<b>20 000</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,00002$	<b>5 000</b>	<b>15 000</b>
<b>Brzdové obložení</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,0001$	<b>10 000</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,00006$	<b>16 000</b>	<b>6 000</b>
<b>Hnací ústrojí</b>	W2p	$m = 0,6729$ $t_0 = 41552$	<b>55 000</b>	W2p	$m = 0,6947$ $t_0 = 64148$	<b>81 000</b>	<b>26 000</b>
<b>Topení</b>	Ex( $\lambda$ )	$\lambda = 0,00009$	<b>11 000</b>	W2p	$m = 0,7902$ $t_0 = 59731$	<b>64 000</b>	<b>53 000</b>
			<b>2</b>	Celkové srovnání spolehlivosti skupin		<b>5</b>	

Pro lepší názornost a porovnání je sestaven sloupcový graf obr. 3.16 z tab.3.9.

Z vypočtených dat bylo zjištěno, že vozidla značky Karosa jsou vzhledem ke zkoumaným částem podskupin vozidla oproti vozidlům SOR spolehlivější. Toto tvrzení je podloženo v tabulce 3.9., kde je zřejmé, že Karosa má spolehlivější palivovou soustavu, otevírání dveří, topení vozidla a hnací ústrojí oproti vozidlům SOR.

Tato analýza může sloužit nejen pro určení spolehlivosti vozidel, ale také například pro logistické zajištění. Dle četnosti poruch a dob mezi poruchami můžeme zásobovat sklad údržbářské dílny potřebným počtem náhradních dílů.



**Obr. 3.16: Porovnání jednotlivých podskupin vozidla**

#### 4. Závěr a technicko – ekonomické zhodnocení

Společnost neposkytla k jednotlivým opravám náklady na opravu, ale místo toho poskytla průměrné náklady na jednu opravu za rok 2008 viz. tab.4.1. Cena zahrnuje náklady na materiál i práci. Z průměrné ceny na jednu opravu budou spočteny odhadované náklady na roční údržbu vozidel a dále celkové náklady vozidlového parku na rok, které budou v závěru porovnány.

**Tab. 4.1: Průměrné náklady**

vozidlo	SOR	Karosa
Průměrné náklady na 1 opravu za rok 2008 [Kč]	4 700	5 300

Vyjádření četnosti poruch  $X_i$

$$X_{S-A} = 56000 / 3333 = 16 \text{ poruch}$$

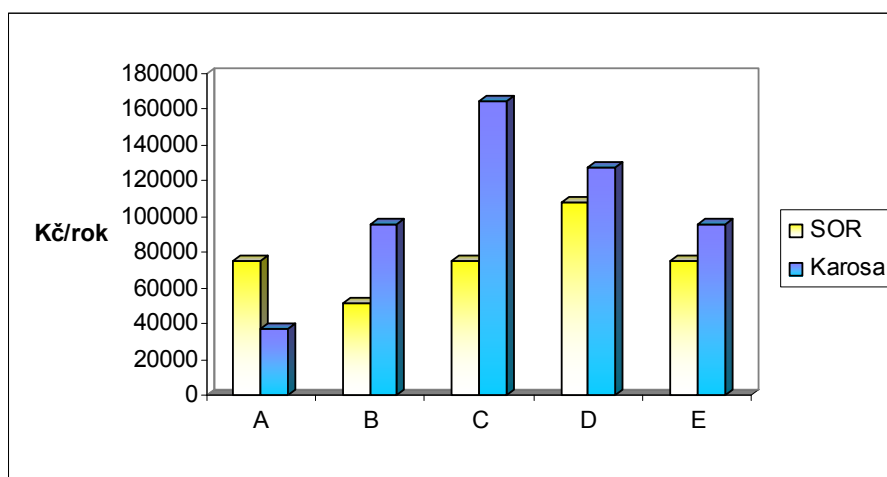
Výpočet ročních nákladů  $C_i$

$$C_{S-A} = 16 \cdot 4700 = 75\,200 \text{ Kč/rok}$$

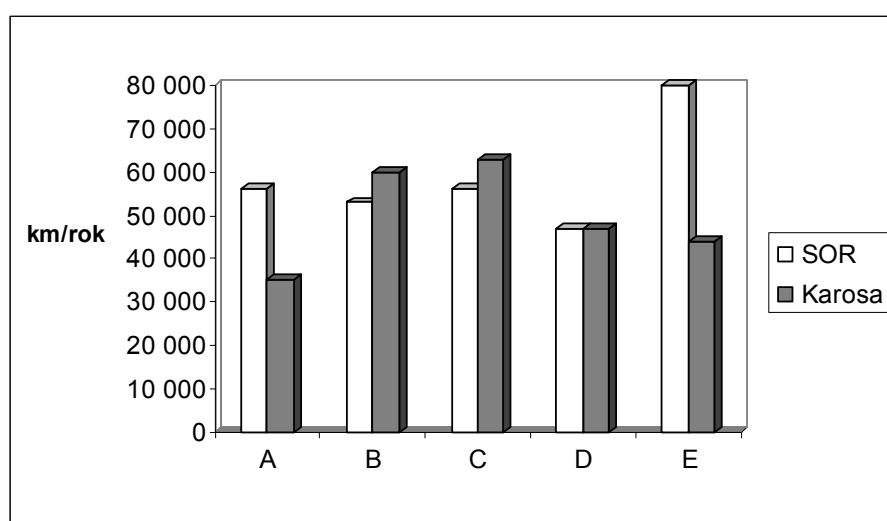
**Tab. 4.2: Tabulka ročních nákladů na opravu**

SOR					Karosa				
typ	Km / rok	Ts [km]	$X_i$ [poruch]	$C_i$ [Kč / rok]	typ	Km / rok	Ts [km]	$X_i$ [poruch]	$C_i$ [Kč / rok]
A	56 000	3 333	16	75 200	A	35 000	5 000	7	37 100
B	53 000	5 000	11	51 700	B	60 000	3 333	18	95 400
C	56 000	3 333	16	75 200	C	63 000	2 000	31	164 300
D	47 000	2 000	23	108 100	D	47 000	2 000	24	127 200
E	80 000	5 000	16	752 000	E	44 000	2 500	18	95 400
celkem	292 000	-	82	<b>385 400</b>	celkem	250 000	-	98	<b>519 400</b>

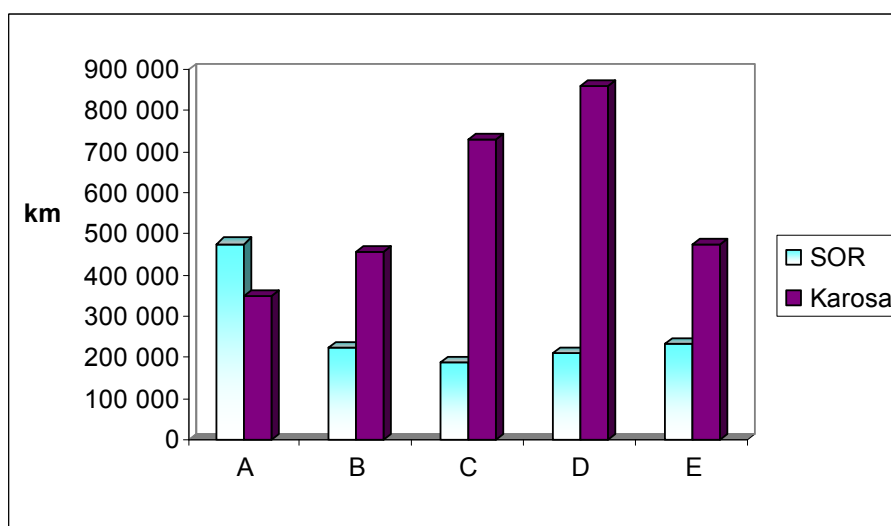
Z tab.4.2. byly sestaveny sloupcové grafy obr.4.1, 4.2, 4.3. Z obr. 4.1 se ekonomicky nejvíce náročně projevuje vozidlo K-C, má nejvyšší náklady na údržbu oproti jiným vozidlům. K vozidlu můžeme přiřadit i vozidlo K-D jejich  $T_s$  je stejná viz. tab. 4.2. Z obr. 4.2. je zřejmé, že vozidla K-C a K-D mají odlišné roční kilometrické proběhy, tato odchylka se projevuje i při ročních nákladech. Vozidlo s vyšším kilometrickým proběhem má vyšší roční náklady, je to zapříčiněno tím, že tyto dvě vozidla mají stejné kilometrické proběhy mezi poruchami.



**Obr. 4.1: Průměrné roční náklady**



**Obr. 4.2: Průměrný roční kilometrický proběh**



**Obr. 4.3: Celkový kilometrický proběh na konci roku 2008**

### **Výpočet odhadních nákladů vozidlového parku:**

Celkový počet vozidel značky Karosa je ve vozidlovém parku 20, proto jsou pro porovnání nákladu dvou značek vozidel použito toto číslo a ne celkový počet vozidel značky SOR, které je vyšší.

**Tab. 4.3: Odhadované roční náklady**

	<b>SOR</b>	<b>Karosa</b>	<b>SOR</b>	<b>Karosa</b>
	Km / rok		Kč / rok	
5 vozidel	292 000	250 000	385 400	519 400
20 vozidel	1 168 000	1 000 000	1 541 600	2 077 600
$\Delta$	168 000		536 000	

Odhadovaný rozdíl ročního kilometrického proběhu pro 20 vozidel je 168 400 km/rok.

Odhadovaný rozdíl nákladů na údržbu je 536 000 Kč/rok.

Vozidla SOR mají větší kilometrický proběh o 168 400 km/rok, a také nižší náklady na údržbu o 536 000 Kč/rok oproti vozidlům Karosa.

### **Závěr:**

Na závěr celé práce bylo zjištěno, že vozidlový park značky Karosa přesahují celkové roční náklady o 536 000 Kč/rok oproti vozidlům SOR. Je to zapříčiněno stářím vozidel, a jak bylo popisováno výše, objekt se chová dle Vanovy křivky. S rostoucí dobou provozu se zvyšuje opotřebení jednotlivých částí vozidla a tím rostou i náklady na údržbu. Toto tvrzení se potvrdilo výpočtem dob mezi poruchami jednotlivých typu vozidel. S rostoucím celkovým kilometrickým proběhem vozidla se zkracuje patřičná doba mezi poruchami hlavně v období dožívání.

Vozidla K-C a K-D patří mezi provozně nejstarší vozidla a tedy jsou i ekonomicky více náročné na údržbu. Doporučil bych, tyto vozidla v následujícím období sledovat z hlediska spolehlivosti. Zda se potvrdí, že vozidla jsou často v údržbě, vozidla bych v co nejbližší době vyměnit za nová.

Analýzou bylo také zjištěno, že opotřeбенé obložení u kotoučových brzd je daleko vyšší než u brzd bubnových, rozdíl činní 6000 km. Na opotřebení bude mít samozřejmě vliv, na jaké lince je dané vozidlo provozováno, zda na trase je více zastávek či méně, výškové převýšení linky a samozřejmě bude mít na to vliv i styl jízdy řidiče.

Porovnávání vozidla se ve výsledku také lišili z hlediska bezporuchovosti pozorovaných konstrukčních podskupin vozidel. Vozidla Karosa se v tomto případě daleko lépe projevovale.

Vozidla mají delší kilometrické proběhy mezi poruchami oproti vozidlům SOR a to v pěti podskupinách (palivová soustava, ovládání dveří, opotřebení brzdového obložení, hnací soustava a topení). Hlavní nevýhodou vozidel Karosa je především jejich stáří, které se negativně projevuje na celkovou spolehlivost vozidel.

Na technický stav vozidla bude mít každopádně také vliv, jak je dané vozidlo používáno: zda je neustále přetěžováno, technický stav vozovky, po které je provozováno, a také styl používání (zacházení) řidič s vozidlem

## Použitá literatura:

- [Famfulík, 2007] Famfulík, J., Míková, J., Krzyžanek, R.: *Teorie údržby, Ostrava 2007*, ISBN 978-80-248-1509-1
- [Fuchs] Fuchs, P: *Využití spolehlivosti v provozní praxi*, Liberec, dostupný na: [http://www.rss.tul.cz/download/sez/fuchs\\_spolehlivost\\_skripta.pdf](http://www.rss.tul.cz/download/sez/fuchs_spolehlivost_skripta.pdf)
- [Mykiska, 2000] Mykiska, A: *Spolehlivost technických systémů*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2000, ISBN 80-01-02079-7
- [Mykiska, 2004] Mykiska, A: *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2004, ISBN 80-01-02868-2
- [Daněk, 1999] Daněk, A., Šíroky, J., Famfulík, J.: *Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků*, Ostrava 1999, ISBN 80-86122-41-7

### Internetové stránky:

- [1] <http://www.veolia-transport.cz>
- [2] <http://www.sor.cz>
- [3] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Karosa\\_řady\\_900](http://cs.wikipedia.org/wiki/Karosa_řady_900)

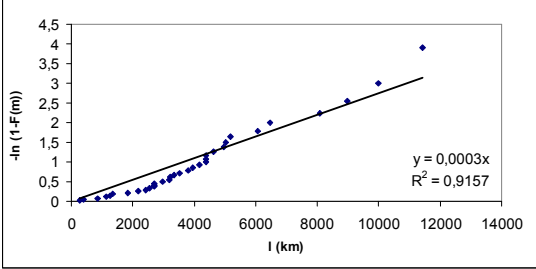
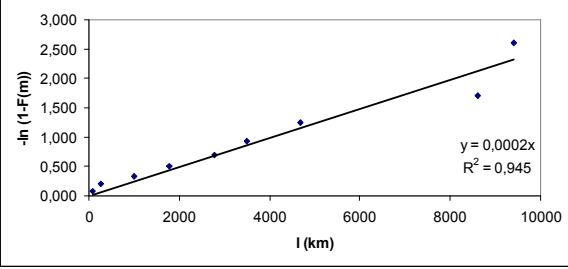
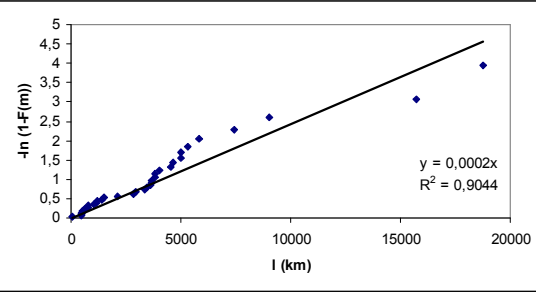
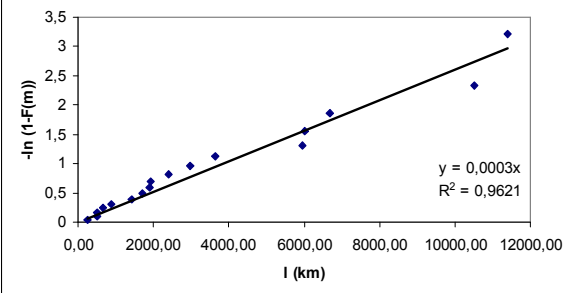
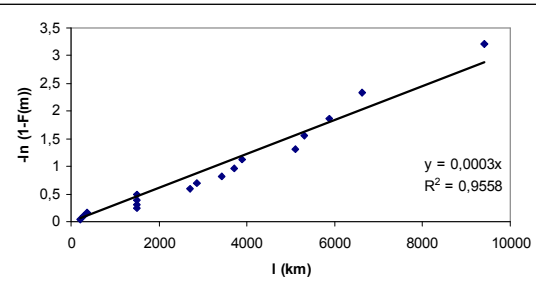
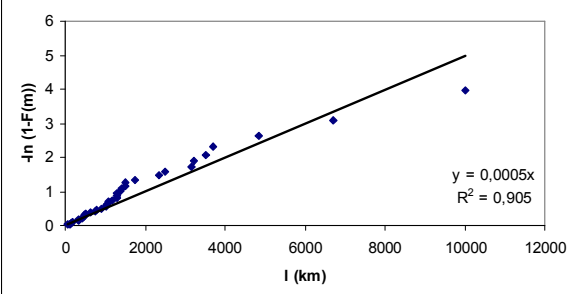
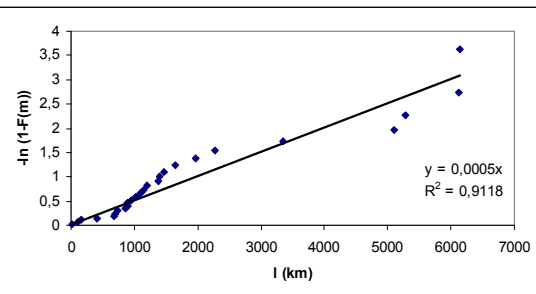
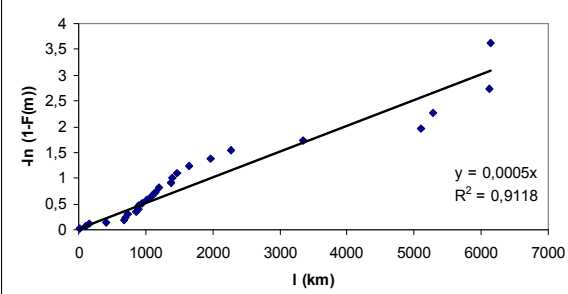
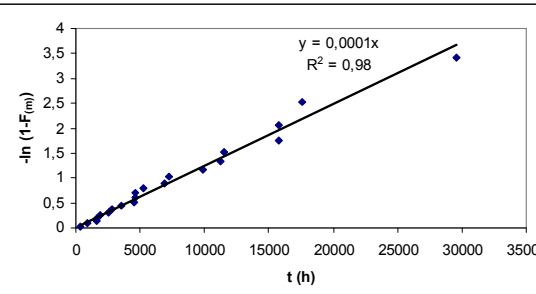
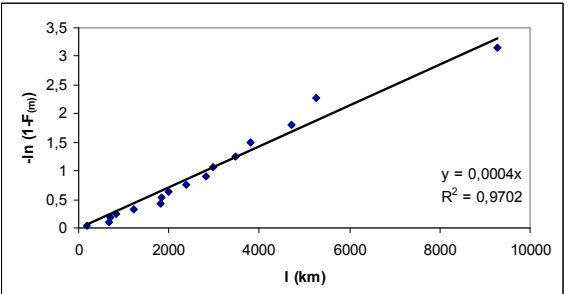
### Normy:

- ČSN IEC 50(191) *Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služby*, 2003
- ČSN IEC 61650 *Technické analýza dat o bezporuchovosti*, 1998
- ČSN IEC 300-3-2 *Řízení spolehlivosti , část 3: Návod k použití, Oddíl 2: sběr dat o spolehlivosti z provozu*, 1995

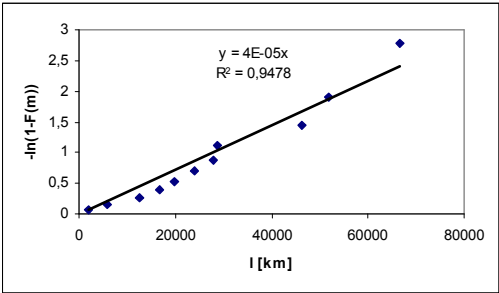
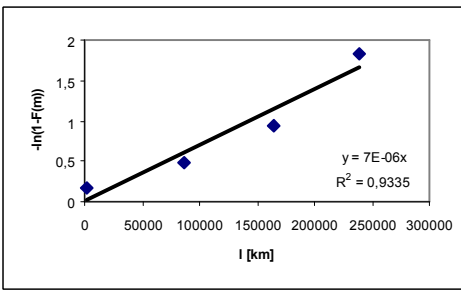
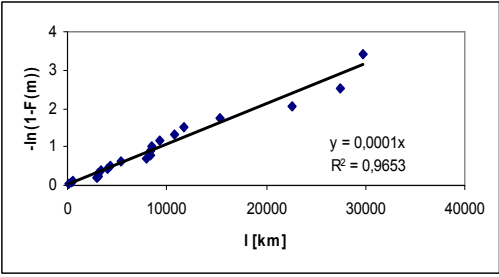
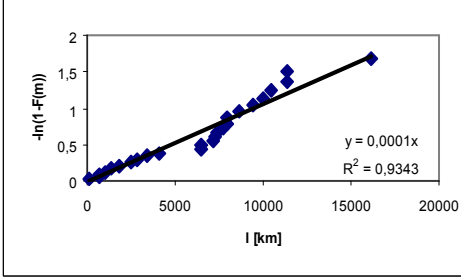
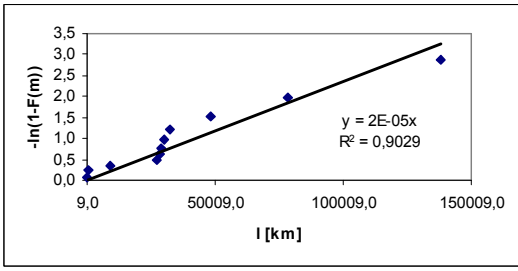
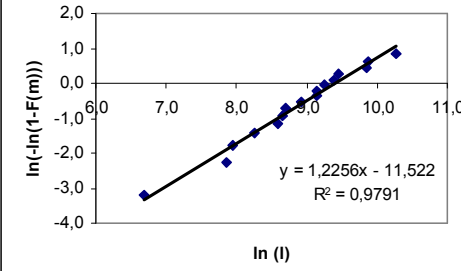
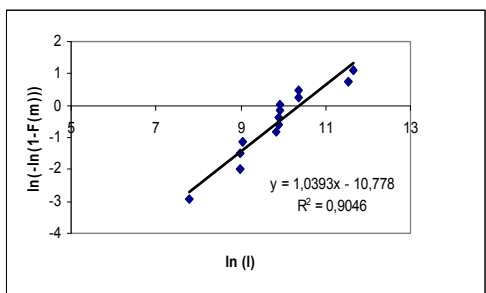
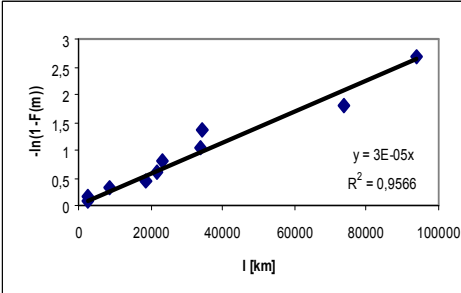
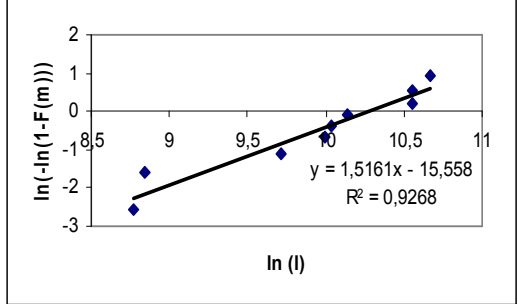
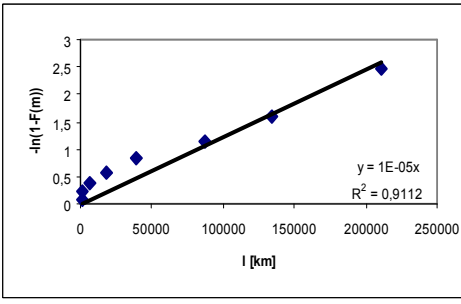


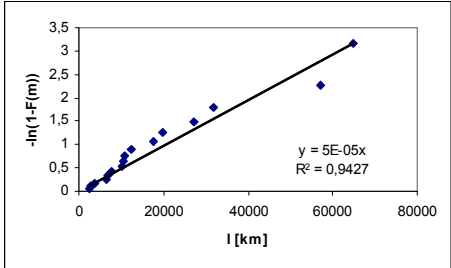
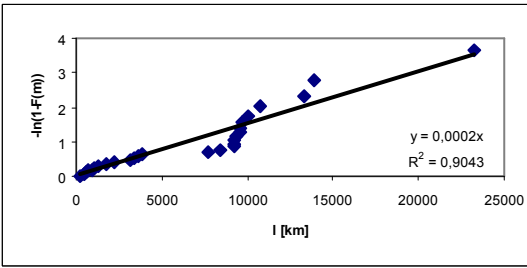
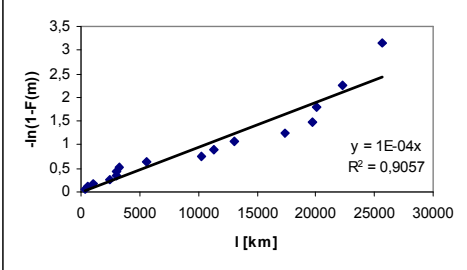
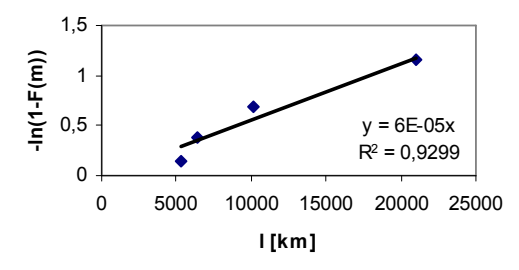
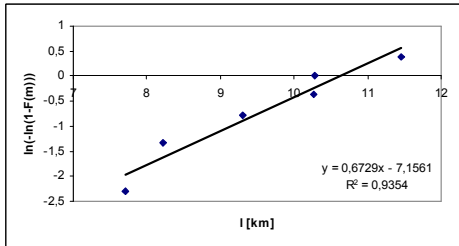
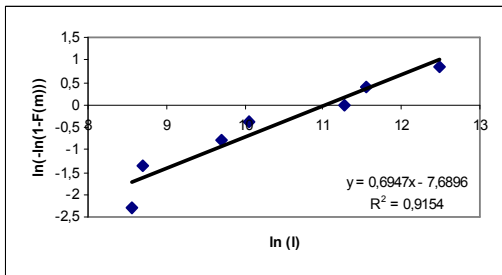
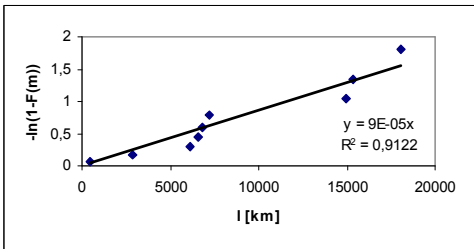
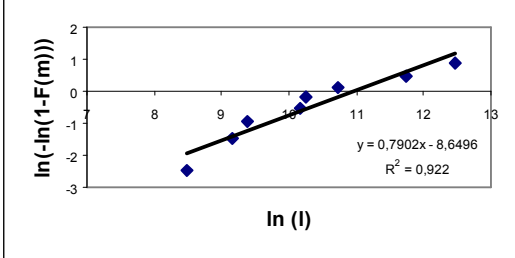
## Přílohy:

### Příloha A: Rovnice přímky pozorovaných vozidel

typ	SOR	Karosa
A	 <p><math>y = 0,0003x</math> <math>R^2 = 0,9157</math></p>	 <p><math>y = 0,0002x</math> <math>R^2 = 0,945</math></p>
B	 <p><math>y = 0,0002x</math> <math>R^2 = 0,9044</math></p>	 <p><math>y = 0,0003x</math> <math>R^2 = 0,9621</math></p>
C	 <p><math>y = 0,0003x</math> <math>R^2 = 0,9558</math></p>	 <p><math>y = 0,0005x</math> <math>R^2 = 0,905</math></p>
D	 <p><math>y = 0,0005x</math> <math>R^2 = 0,9118</math></p>	 <p><math>y = 0,0005x</math> <math>R^2 = 0,9118</math></p>
E	 <p><math>y = 0,0001x</math> <math>R^2 = 0,98</math></p>	 <p><math>y = 0,0004x</math> <math>R^2 = 0,9702</math></p>

**Příloha B: Rovnice přímky jednotlivých konstrukčních částí vozidel**

typ	SOR	Karosa
<b>Palivová soustava</b>	 <p><math>y = 4E-05x</math> <math>R^2 = 0,9478</math></p>	 <p><math>y = 7E-06x</math> <math>R^2 = 0,9335</math></p>
<b>Motor</b>	 <p><math>y = 0,0001x</math> <math>R^2 = 0,9653</math></p>	 <p><math>y = 0,0001x</math> <math>R^2 = 0,9343</math></p>
<b>Náprava</b>	 <p><math>y = 2E-05x</math> <math>R^2 = 0,9029</math></p>	 <p><math>y = 1,2256x - 11,522</math> <math>R^2 = 0,9791</math></p>
<b>Osvětlení vozidla</b>	 <p><math>y = 1,0393x - 10,778</math> <math>R^2 = 0,9046</math></p>	 <p><math>y = 3E-05x</math> <math>R^2 = 0,9566</math></p>
<b>Otevírání dveří</b>	 <p><math>y = 1,5161x - 15,558</math> <math>R^2 = 0,9268</math></p>	 <p><math>y = 1E-05x</math> <math>R^2 = 0,9112</math></p>

typ	SOR	Karosa
Rozvod vzduchu		
Brzdové obložení		
Hnací soustava		
Topení		

#### Příloha CD: Hodnocení vozidel

- Datový nosič (je součástí bakalářské práce - založeno v zadní vazební desce)

## Seznam obrázků a tabulek:

	strana
Obr. 2.1: Vymezení spolehlivosti dle ČSN IEC 50 (191) .....	8
Obr. 2.2: Proces obnovy [Fuchs] .....	10
Obr. 2.3: Přejchod mezi stavy [Fuchs].....	11
Obr. 2.4: Obnovované objekty.....	11
Obr. 2.5: Vanova křivka – charakteristiky průběh poruch $\lambda(t)$ [Mykiska, 2000].....	12
Obr. 2.6: Hustota pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny [Famfulík, 2004].....	15
Obr. 2.7: Histogramy relativní četnosti .....	17
Obr. 2.8: Exponenciální rozdělení – časové průběhy ukazatelů $F(t)$ , $R(t)$ , $f(t)$ a $\lambda(t)$ .....	18
Obr. 2.9: Stanovení parametru rovnice přímky .....	19
Obr. 2.10: Weibullova rozdělení – časový průběh ukazatelů $F(t)$ a $\lambda(t)$ [Mykiska, 2004].....	20
Obr. 2.11: Stanovení parametru rovnice přímky .....	22
Obr. 3.1: Histogram četnosti poruch vozidla K-A.....	24
Obr. 3.2: Parametry rovnice přímky .....	25
Obr. 3.3: Posuzování vozidel.....	27
Obr. 3.4: Četnost poruch.....	28
Obr. 3.5: Četnost poruch.....	29
Obr. 3.6: Parametry rovnice přímky.....	30
Obr. 3.7: Charakteristika bezporuchovosti náprav vozidel SOR a Karosa.....	32
Obr. 3.8: Charakteristika bezporuchovosti palivové soustavy vozidel SOR a Karosa.....	32
Obr. 3.9: Charakteristiky bezporuchovosti motoru vozidel SOR a Karosa.....	33
Obr. 3.10: Charakteristiky bezporuchovosti osvětlení vozidel SOR a Karosa.....	33
Obr. 3.11: Charakteristiky bezporuchovosti otevírání dveří vozidel SOR a Karosa.....	34
Obr. 3.12: Charakteristiky bezporuchovosti vzduchové soustavy vozidel SOR a Karosa.....	35
Obr. 3.13: Charakteristiky bezporuchovosti brzdového obložení vozidel SOR a Karosa.....	36
Obr. 3.14: Charakteristiky bezporuchovosti hnacího ústrojí vozidel SOR a Karosa .....	37
Obr. 3.15: Charakteristiky bezporuchovosti topení vozidel SOR a Karosa .....	37
Obr. 3.16: Porovnání jednotlivých podskupin vozidla .....	39
Obr. 4.1: Průměrné roční náklady.....	41
Obr. 4.2: Průměrný roční kilometrický proběh.....	41
Obr. 4.3: Celkový kilometrický proběh na konci roku 2008 .....	41

	strana
Tab. 1.1: Vozidlový parku .....	6
Tab. 1.2: Kilometrický proběh na konci r. 2008.....	6
Tab. 2.1: Ukazatelé bezporuchovosti obnovovaných objektů .....	14
Tab. 3.1: Data poruch vozidla K-A .....	23
Tab. 3.2: Tabulka četnosti poruch pro sestavení histogramu .....	24
Tab. 3.3: Hodnoty pro sestavení grafu – lineární regrese .....	25
Tab. 3.4: Číselné kilometrické proběhy vozidel mezi poruchami .....	26
Tab. 3.5: Vozidlo K-A .....	26
Tab. 3.6: Četnost poruch.....	28
Tab. 3.7: Hodnoty pro sestavení grafu.....	30
Tab. 3.8: Náprava vozidla Karosa .....	31
Tab. 3.9: Střední kilometrické proběhy mezi poruchami .....	38
Tab. 4.1: Průměrné náklady .....	40
Tab. 4.2: Tabulka ročních nákladů na opravu .....	40
Tab. 4.3: Odhadované roční náklady .....	42

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Jan Famfulíkovi, Ph.D. za odborné a cenné rady při sestavení mé bakalářské práce, a také bych chtěl poděkovat Veolia Transport Morava a.s., provozní jednotka Šumperk, za poskytnutí dat.